

12 IDROGEOLOGIA

PIETRO ZANGHERI¹

12.1. LA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA IN PROVINCIA DI VENEZIA - ASPETTI GENERALI, METODOLOGIE DI STUDIO E STATO DELLE CONOSCENZE

12.1.1. Lo stato delle conoscenze e gli studi pregressi

La Provincia di Venezia, anche in sinergia con altri enti territoriali, ha attuato un sistematico programma per l'individuazione e la caratterizzazione degli acquiferi del proprio territorio che, partendo da una situazione di pressoché totale assenza di conoscenze, ha portato a una definizione del quadro idrogeologico generale, della distribuzione dei diversi acquiferi e alla loro caratterizzazione quantitativa e, in parte, qualitativa.

Le acque sotterranee sono nel contempo risorse ambientali di interesse per molteplici usi, compresi quelli di pregio quali quelli potabili e termali, ma anche elemento interferente con opere che sempre più vanno a svilupparsi nel sottosuolo (opere di ingegneria, ma anche geosonde).

Si possono ricondurre le attività della Provincia per la conoscenza idrogeologica del suo territorio principalmente a due scopi:

- caratterizzare la risorsa al fine di razionalizzarne gli usi;
- definire le potenziali interferenze con gli acquiferi delle attività antropiche.

Le risorse idriche sotterranee risultano distribuite in modo non uniforme sia per quantità che per qualità. Le aree a maggiore presenza di risorsa pregiata sono l'alto miranese (comuni di Scorzé, Noale e parte settentrionale dei comuni di Salzano e Martellago) e l'alto portogruarese.

E' da evidenziare inoltre la presenza di acque termali (con temperature massime di circa 50 °C) nella bassa pianura del Tagliamento ai confini con il Friuli Venezia Giulia.

Ricche risultano le risorse idriche sotterranee in varie parti del territorio, tanto che l'economia di vaste aree si è sviluppata proprio grazie alla presenza di questa risorsa. A titolo di esempio si possono citare le colture orticole dell'area di Scorzé e del litorale del Cavallino e la fiorente attività di estrazione di acque per imbottigliamento nell'area di Scorzé.

Diversi progetti sono stati dedicati al tema delle risorse idriche sotterranee. In relazione a una competenza in tema di acque condivisa con vari altri enti, questi lavori sono stati svolti in modo sinergico con molteplici enti pubblici e di ricerca (Consorzi di boni-

fica, AATO Laguna di Venezia, CNR, Regione Veneto, Comuni ...). In particolare si segnala che ben 42 (su 44) Comuni hanno partecipato economicamente alla "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia".

Tra i vari studi si ricordano:

- Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia (pubblicata nel 2000);
- Rete di monitoraggio delle acque sotterranee (pubblicata nel 2000);
- Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese (pubblicata nel 2001);
- Progetto Cartografia Geologica CARG, di cui la Provincia è stata responsabile per l'idrogeologia dei fogli 1:50.000 Venezia, Chioggia-Malamocco e Portogruaro (i primi due pubblicati nel 2007 e l'ultimo nel 2011);
- Progetto ISES - Intrusione Salina E Subsidenza (pubblicato nel 2003);
- Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera (prima fase completata nel 2002 e seconda fase nel 2009);
- Progetto IDRO (Studio idrogeologico degli acquiferi superficiali e interferenza con gli interventi antropici nel sottosuolo; in corso, scheda in questo capitolo).

Vanno inoltre ricordati i seguenti progetti svolti da altri Enti che hanno permesso importanti approfondimenti su alcune parti del territorio provinciale:

- "Indagine per lo studio delle risorse geotermiche nel basso territorio portogruarese" (2007), svolto dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, in base alla D.G.R.V. n° 2245/02 e realizzato in modo sinergico con il citato Progetto CARG - Foglio Portogruaro;
- "Bilancio idrogeologico" dell'A.A.T.O. Laguna di Venezia² (pubblicato nel 2010), specificatamente

¹ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it.

² L'Ente di coordinamento dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" è la Provincia di Venezia, il cui Presidente è anche Presidente dell'A.A.T.O. L'Autorità pianifica e controlla, in base alla Legge Galli (ora sostituita dal D.Lgs. n° 152/2006), il sistema idrico integrato (S.I.I.) di un bacino idrogeologico che comprende 25 comuni (tra cui Venezia) estesi su due province venete: Venezia e Treviso. Il territorio ha un'estensione di 1266 km², con un bacino d'utenza di quasi 650.000 abitanti su cui opera attualmente come unico gestore VERITAS spa (risultante dalla fusione dei quattro enti gestori precedentemente presenti). Il minimo comune denominatore del territorio dei comuni dell'A.A.T.O. è il corpo idrico ricettore degli scarichi: la Laguna di Venezia.

dedicato all'area di risorsa idropotabile del territorio AATO che interessa anche la parte centrale della provincia di Venezia (comuni di Scorzé, Noale, Martellago e Salzano), oltre a 5 comuni della provincia di Treviso.

Un'attività ventennale di indagini idrogeologiche sul territorio provinciale ha quindi portato a definire il quadro di riferimento sulle risorse idriche sotterranee. Questo quadro è stato poi dettagliato dalla Provincia e/o da altri enti nei suoi aspetti di parametrizzazione idrogeologica, bilancio idrico, idrodinamica sotterranea ecc., in rapporto alle specifiche esigenze e competenze. E' significativo come gli studi della Provincia siano serviti da base per sviluppare gli approfondimenti necessari ad altri enti. Si cita il caso dell'AATO Laguna di Venezia per la gestione della risorsa idropotabile e quello di ARPAV per le reti di monitoraggio delle acque sotterranee.

12.1.2. Risorse idriche degli acquiferi confinati "profondi" e degli acquiferi "superficiali"

In questo testo, per semplicità di esposizione, si utilizzerà la seguente suddivisione convenzionale tra:

- *acquiferi superficiali* presenti in modo discontinuo nei primi 20-30 m di profondità, alloggiati in acquiferi sabbiosi e, localmente, ghiaiosi, generalmente non confinati o debolmente confinati;
- *acquiferi profondi* confinati (tra 30 e 600 m di profondità).

Questa suddivisione, oltre a rispondere a diverse metodologie di studio e a un diverso grado di conoscenze, trova rispondenza in termini di applicazioni pratiche in:

- gli *acquiferi superficiali* vengono comunemente considerati come risorse di scarso interesse, in relazione alla bassa qualità delle acque e al modesto grado di protezione degli acquiferi. Si tratta però degli acquiferi che vengono a contatto, interferiscono e influenzano molte attività antropiche, che vanno da quelle agricole alla realizzazione di opere di ingegneria. Negli ultimissimi tempi, in relazione al rapido sviluppo di sistemi di scambio termico (pompe di calore) sta crescendo l'interesse per questi acquiferi per il potenziale utilizzo di sistemi geotermici a circuito aperto (con o senza reimmissione in falda) e a circuito chiuso (geosonde);

RISORSE IDRICHE E BILANCIO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITÀ D'AMBITO TERRITORIALE OTTIMALE (AATO) "LAGUNA DI VENEZIA"³

Scheda a cura di Pietro Zangheri

Il piano d'ambito, previsto dalla vigente normativa in tema di Sistema Idrico Integrato come principale strumento del Sistema stesso, prevede necessariamente un'adeguata conoscenza della disponibilità e delle caratteristiche delle fonti idropotabili di interesse acquedottistico.

L'AATO Laguna di Venezia nel redigere il proprio piano d'ambito ha dedicato particolare attenzione a questo tema come elemento imprescindibile di una corretta programmazione e gestione della risorsa idrica. E' così stato avviato un programma di approfondimento geologico e idrogeologico sull'intera area di risorsa idropotabile che ha portato alla definizione del quadro geologico di riferimento e a un primo bilancio idrogeologico.

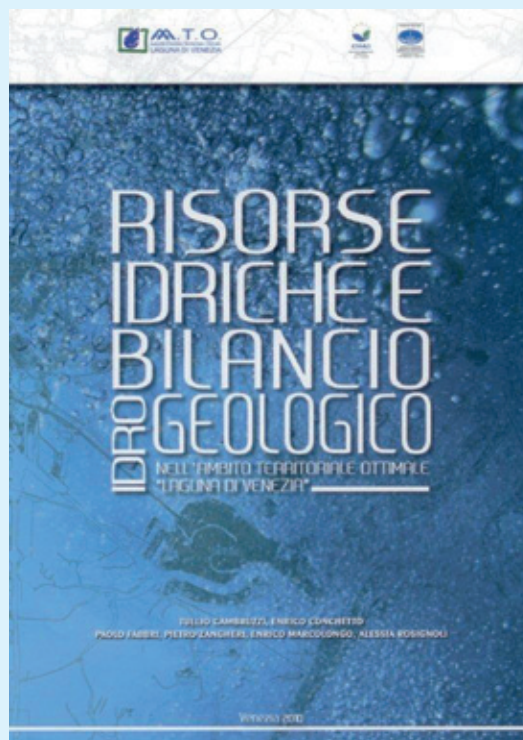
Il lavoro è stato svolto dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, con la collaborazione fattiva, sia in campo che in fase di elaborazione, del personale dell'AATO Laguna di Venezia.

Data la parziale sovrapposizione di interessi con la Provincia di Venezia (a cui compete anche la Presidenza dell'AATO), l'attività ha portato alla condivisione della banca idrogeologica del Servizio Geologico

provinciale con l'AATO e il Dipartimento di Geoscienze.

I risultati, che vengono ripresi nella parte dedicata all'idrogeologica dell'area centrale della provincia, saranno di base, oltre che per tematiche gestionali, per numerose applicazioni, quali le reti di monitoraggio di allarme e la protezione dinamica dei campi pozzi acquedottistici, il monitoraggio degli acquiferi di interesse idropotabile e la razionalizzazione e ottimizzazione nella distribuzione delle opere di presa acquedottistiche.

Il lavoro è disponibile in una monografia edita dall'AATO (CAMBRUZZI *et al.*, 2010a) e richiedibile all'AATO stesso.



³ www.atolagunadivenezia.it/

- gli *acquiferi confinati “profondi”* sono quelli interessati dagli utilizzi più significativi (pozzi acquedottistici, industriali ecc.), soprattutto nelle aree dove per qualità e quantità le risorse idriche acquisiscono maggior pregio.

12.1.3. Complessità geologica e variabilità della distribuzione della risorsa idrica

Altre parti del presente Atlante illustrano la complessità e la variabilità geologica del territorio provinciale. A questa complessità geologica corrisponde un'altrettanto complessa distribuzione degli acquiferi.

Nelle prime centinaia di metri di sottosuolo si trovano diversi acquiferi confinati, tra loro sovrapposti e con caratteristiche di trasmissività, qualità delle acque e modalità di ricarica e deflusso estremamente variabili.

Il sottosuolo è caratterizzato per alcune centinaia di metri da sedimenti sciolti, di granulometria compresa tra le argille e le ghiaie, che poggiano su un substrato prequaternario. Questi sedimenti contengono una serie di acquiferi confinati e sovrapposti alloggiati prevalentemente in sabbie e ghiaie. Il confinamento è dato da spessi livelli argillosi e limosi.

Nei primi metri di sottosuolo si ha un acquifero freatico, attualmente oggetto di specifici approfondimenti, a bassa trasmissività, discontinuo, che in alcune aree aumenta significativamente di trasmissività in coincidenza con importanti strutture geomorfologiche.

L'interazione tra questi acquiferi e l'uomo è molto elevata. Gli acquiferi sono oggetto di utilizzo a diverso scopo: dal potabile all'imbottigliamento, dall'industriale all'irriguo. Gli acquiferi più superficiali sono poi spesso a diretto contatto con molte attività umane, come le opere in sotterraneo e le attività agricole.

Date queste premesse, risulta immediatamente evidente come il quadro conoscitivo idrogeologico sia elemento imprescindibile di una gestione del territorio. Inoltre, a fronte di vincoli posti spesso genericamente su base comunale o areale, i dati raccolti evidenziano come una corretta gestione delle risorse sotterranee debba basarsi sulla caratterizzazione e definizione degli acquiferi considerando la complessità tridimensionale del sottosuolo.

12.1.4. Metodologia

Il quadro idrogeologico a scala provinciale deriva, come visto, da differenti studi svolti nel tempo con metodologie e dettagli differenti. Ciononostante i diversi lavori sono accomunati da alcuni importanti aspetti metodologici.

In particolare si citano:

- i dati raccolti in tutti gli studi idrogeologici sono archiviati, secondo uno standard predefinito, nella banca dati idrogeologica provinciale (*geodatabase*);⁴ i dati provenienti dai singoli studi sono quindi elaborabili complessivamente con quelli provenienti da altri studi;
- in tutti i lavori si è dato ampio spazio alle attività di

rilievo in campo e a misure sperimentali su pozzi esistenti; ciò ha portato all'archiviazione dei dati anagrafici di oltre 3000 pozzi e di quasi 10.000 rilievi (misure piezometriche, temperatura e conducibilità elettrica delle acque ecc.), nonché *test* idrogeologici per la parametrizzazione degli acquiferi;

- si è installata strumentazione di monitoraggio della piezometria (e in alcuni casi di altri parametri fisici) su una trentina di punti significativi, che sono ubicati nella cartografia della Tav. 11 alla scala 1:100.000.

In sintesi le conoscenze idrogeologiche sul territorio rappresentano una risorsa che viene costantemente incrementata nel tempo e che funge da base per le attività istituzionali della Provincia (istruttorie di progetti, attività di pianificazione ecc.) via via adattabili alle nuove esigenze (da ultimo si cita il recente sviluppo delle geosonde, a cui è dedicata una specifica parte del presente Atlante⁵).

12.2. GLI ACQUIFERI CONFINATI “PROFONDI”

12.2.1. Inquadramento nello schema idrogeologico a livello regionale

A titolo di inquadramento si riporta la classica schematizzazione idrogeologica della Pianura Veneta, il cui sottosuolo si può suddividere in tre fasce:

1. Alta Pianura (acquifero indifferenziato - area di ricarica);
2. Media Pianura (fascia delle falde artesiane);
3. Bassa Pianura (falde a modesta potenzialità qualitativa e quantitativa).

La provincia di Venezia ricade nella fascia di Media e Bassa Pianura, ma i suoi acquiferi profondi dipendono, per l'alimentazione, da quelli dell'Alta Pianura.

La fascia di **Alta Pianura** si colloca a ridosso dei rilievi montuosi con una larghezza variabile, da monte a valle, di circa una decina di chilometri che tende a restringersi nella pianura del Tagliamento. E' una zona composta principalmente da materiali sciolti grossolani; il materasso alluvionale risulta infatti formato quasi interamente da depositi sabbiosi, ghiaiosi e ciottolosi molto permeabili per tutto il suo spessore. E' frequente rinvenire a diverse profondità livelli ghiaiosi più o meno cementati (livelli conglomeratici). In questa zona i diversi conoidi alluvionali e fluvio-glaciali si sono tra loro compenetrati formando un unico ammasso ghiaioso-ciottoloso.

La fascia di **Media Pianura**, di circa una decina di chilometri di larghezza, rappresenta il passaggio tra l'Alta e la Bassa Pianura. In questa zona le ghiaie diminuiscono di spessore suddividendosi in livelli separati tra loro da letti di materiale limoso-argilloso impermea-

⁴ Vedi anche il capitolo 5 “Banche dati” e la Tav. 7.

⁵ Vedi il capitolo 13 “Geoscambio” e la Tav. 13.

bile. Questo passaggio è abbastanza rapido e si manifesta con una struttura a digitazione delle ghiaie che si distaccano dall'ammasso alluvionale omogeneo, dapprima con grandi spessori, e si esauriscono verso valle a differenti distanze, chiudendosi entro i depositi fini impermeabili o semipermeabili. Solo i livelli ghiaiosi più profondi tendono a persistere anche più a Sud, nella Bassa Pianura, come testimoniano le informazioni di sondaggi provenienti da pozzi profondi.

A valle della fascia di media pianura si trova la fascia di **Bassa Pianura**, che si spinge fino alla costa adriatica e a sud fino al fiume Po. Ha una larghezza di circa 20 km nella parte orientale e presenta un sottosuolo costituito da potenti letti di limi e argille entro cui si intercalano livelli sabbiosi.

La progressiva differenziazione delle strutture sedimentarie da monte a valle determina conseguentemente caratteri idrogeologici differenti. Si passa infatti da un sistema acquifero monofalda di tipo freatico, a monte, a un sistema multifalde, a valle, in stretta connessione l'uno con l'altro.

Con riferimento alle tre fasce sopracitate, il territorio provinciale ricade nelle zone definite di Media e di Bassa Pianura. La Media Pianura Veneta si trova in corrispondenza della zona in cui inizia a presentarsi la struttura geologica multifalde, con acquiferi ghiaiosi in pressione situati a profondità differenti. E' in questa fascia che si colloca l'area di "risorsa idropotabile".

A valle della Media Pianura la rapida e progressiva riduzione di materiali grossolani negli orizzonti acquiferi non consente l'esistenza di falde idriche molto ricche, salvo casi piuttosto rari.

La ricarica di tutto questo complesso sistema idrogeologico avviene in corrispondenza dell'Alta Pianura,

dove l'acquifero libero indifferenziato si trova in comunicazione idraulica con la superficie (Fig. 12.1).

I principali fattori di ricarica si possono individuare nelle precipitazioni, nella dispersione dei corsi d'acqua, nell'irrigazione e negli afflussi sotterranei provenienti dagli acquiferi rocciosi fessurati presenti nei rilievi prealpini. L'ordine di importanza di questi fattori varia da zona a zona; in ogni caso la dispersione del sistema irriguo e dei corsi d'acqua (Adige, Astico, Leogra, Brenta, Piave e Tagliamento) si è dimostrata di particolare rilevanza per la ricarica dell'acquifero freatico dell'Alta Pianura, che provvede ad alimentare il sistema multifalde posto a valle, con il quale -come si è detto- è strettamente collegato.

Nella fascia di transizione tra l'Alta e la Media Pianura, uno degli elementi caratteristici è la fascia delle risorgive con i corsi d'acqua, comunemente definiti fiumi di risorgiva, che essa alimenta.

La venuta a giorno della falda freatica si verifica lungo questa fascia di larghezza variabile tra i 2 e i 10 km, individuata da un limite superiore e uno inferiore. L'emergenza della falda avviene nei punti più depressi del suolo dove hanno origine i fontanili, tipiche e ben note sorgenti di pianura.

Il limite superiore delle risorgive corrisponde all'intersezione della superficie freatica con quella topografica, e può variare nel tempo in quanto risente delle oscillazioni della superficie piezometrica della falda: esso infatti si sposta verso monte quando il livello si alza e verso valle quando quest'ultimo decresce.

Il limite delle risorgive è posto generalmente a monte del territorio provinciale. L'unica risorgiva presente nel territorio provinciale ("risorgiva di Frattina") ricade in comune di San Michele al Tagliamento (Fig. 12.2).

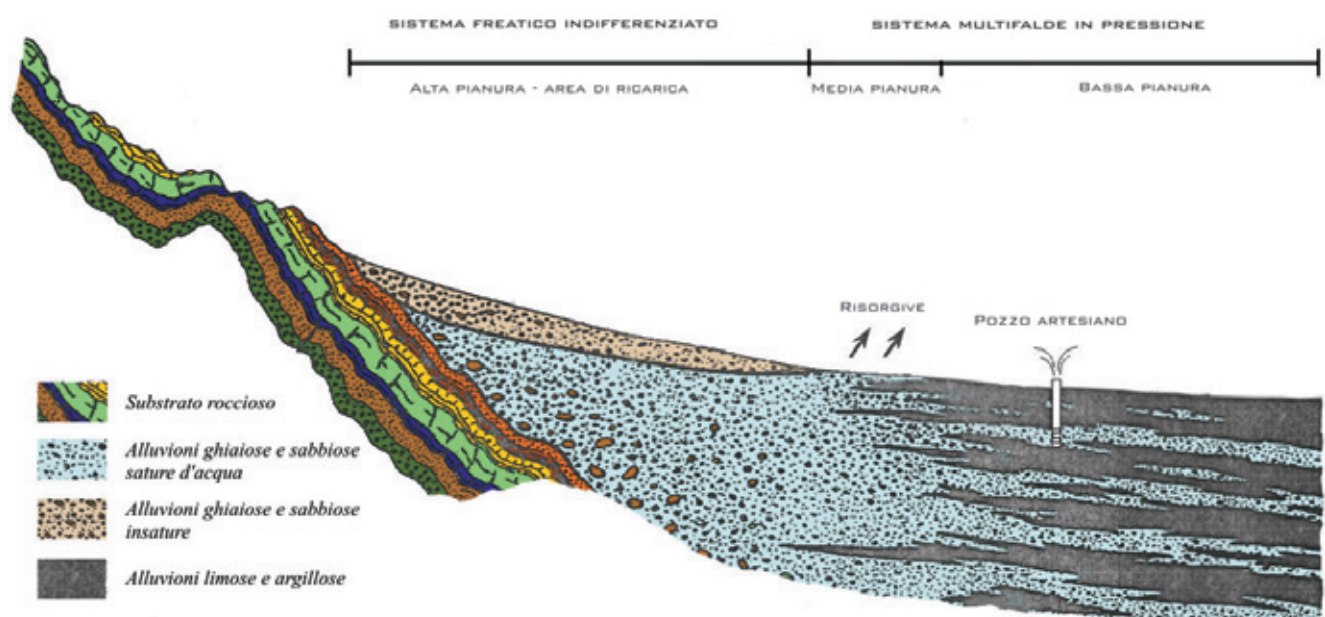


Fig. 12.1 - Modello idrogeologico della Pianura Veneta. La figura rappresenta una sezione-tipo della pianura con direzione N-S. Si distingue la zona di Alta Pianura dove avviene la ricarica dell'acquifero, la zona di Media Pianura dove inizia a svilupparsi il sistema multifalde in pressione e in cui le acque freatiche vengono a giorno (fascia delle risorgive) e infine la zona di Bassa Pianura.



Fig. 12.2 - Immagine di un fontanile (Risorgiva di Frattina - comune di San Michele al Tagliamento. Fonte: BONDESAN A. & LEVORATO C., "I geositi della provincia di Venezia", 2008).

12.2.2. Qualità e quantità delle acque sotterranee: l'area di risorsa idropotabile

12.2.2.1. Delimitazione dell'area di risorsa idropotabile

La georisorsa in rapporto alle condizioni geologiche e idrogeologiche non è uniformemente distribuita nel territorio provinciale, sia per gli aspetti quantitativi che per quelli qualitativi. In termini generali, spostandosi da nord verso sud, diminuisce sia la disponibilità e l'accessibilità delle acque sotterranee sia la loro qualità naturale. Ciò risulta immediatamente evidente osservando la distribuzione dei punti di approvvigionamento acquedottistico e dei pozzi privati: si concentrano nei comuni Scorzé, Noale, Salzano e Martellago e nella parte settentrionale del portogruarese⁶.

Anche la qualità delle acque risulta molto disuniforme; infatti, spostandosi da monte a valle le acque sotterranee presentano, con maggior diffusione, elementi di "origine geologica", quali alluminio, ferro, manganese, arsenico, ammoniaca, che rendono non potabile l'acqua rispetto al suo "fondo naturale".

La disuniforme distribuzione naturale della risorsa ha permesso di definire un *limite dell'area di risorsa idropotabile*: una linea che di fatto distingue le zone nel cui sottosuolo è presente tale risorsa (per l'appunto definita "area di risorsa idropotabile") da quelle dove non è presente. Nella Tav. 11 viene riportata la delimitazione dell'area di risorsa idropotabile alla quale si è giunti analizzando la quantità e la qualità degli acquiferi. Tale delimitazione è stata recepita anche in documenti programmatori della Provincia e di altri enti.

Ovviamente, il limite schematizza un passaggio che nella realtà è graduale e si differenzia tra falda e falda (siamo in una situazione di acquifero multifalda), pur tuttavia permette l'immediata distinzione di aree dove le risorse idriche non solo sono più abbondanti, ma risultano anche limitatamente interessate da alcune impronte naturali, come la citata presenza di un fondo naturale di ferro, manganese ecc. pressoché ubiquitaria più a sud, che rendono le risorse generalmente non idonee al consumo umano.

L'area di risorsa idropotabile è di importanza strategica, poiché l'acqua di alcuni acquiferi viene prelevata per uso acquedottistico ed è utilizzata per l'approvvigionamento idropotabile autonomo. Inoltre, vi insistono importanti prelievi per l'imbottigliamento delle acque minerali e per altri usi privati. In essa si hanno i massimi valori di produttività dei pozzi (in relazione a più elevati valori di trasmissività) e, soprattutto, si hanno acque le cui caratteristiche naturali le rendono idonee all'uso idropotabile (ovvero rispondenti ai requisiti previsti dal D.Lgs. n° 31/2001).

Nelle rimanenti parti del territorio, generalmente, le acque sotterranee non risultano adeguate al consumo umano per la presenza di elevate concentrazioni delle citate sostanze di "origine geologica", quali alluminio, arsenico, ammoniaca, ferro e manganese che sono normalmente superiori anche ai valori tabellari (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) della normativa vigente in tema di bonifiche dei siti contaminati. Ovviamente, non si tratta di fenomeni di contaminazione antropica, ma di caratteristiche naturali delle acque.

Una prima rappresentazione del fenomeno è riportato nelle due seguenti cartografie (Figg. 12.3 e 12.4), dove i pozzi a profondità superiori di 30 metri, oggetto di rilievo, sono suddivisi in base alle caratteristiche di potabilità, per i parametri ferro e ammoniaca.

Nella elaborazione non viene fatta alcuna distinzione in base alla profondità di prelievo o alla falda di appartenenza (elemento imprescindibile di un'analisi del fondo naturale). L'elaborazione però permette di distinguere immediatamente le aree di maggior interesse per la potenzialità idropotabile degli acquiferi.

12.2.2.2. Elementi di origine geologica ("fondo naturale") e loro distribuzione nel sottosuolo

La presenza di elevate concentrazioni di metalli nei terreni e nelle acque sotterranee nella Pianura Veneta è nota da tempo ed è ormai un dato accertato da un punto di vista scientifico.

La presenza di tali sostanze, in acquiferi alluvionali, viene normalmente messa in relazione a condizioni riducenti negli acquiferi e, in particolare nel caso dell'ammoniaca, alla presenza di torbe. Tale forma di "contaminazione" è distribuita a "macchia di leopardo"

⁶ Questo aspetto verrà poi trattato con maggior dettaglio nel capitolo 15 "Georisorse" e nella Tav. 14.

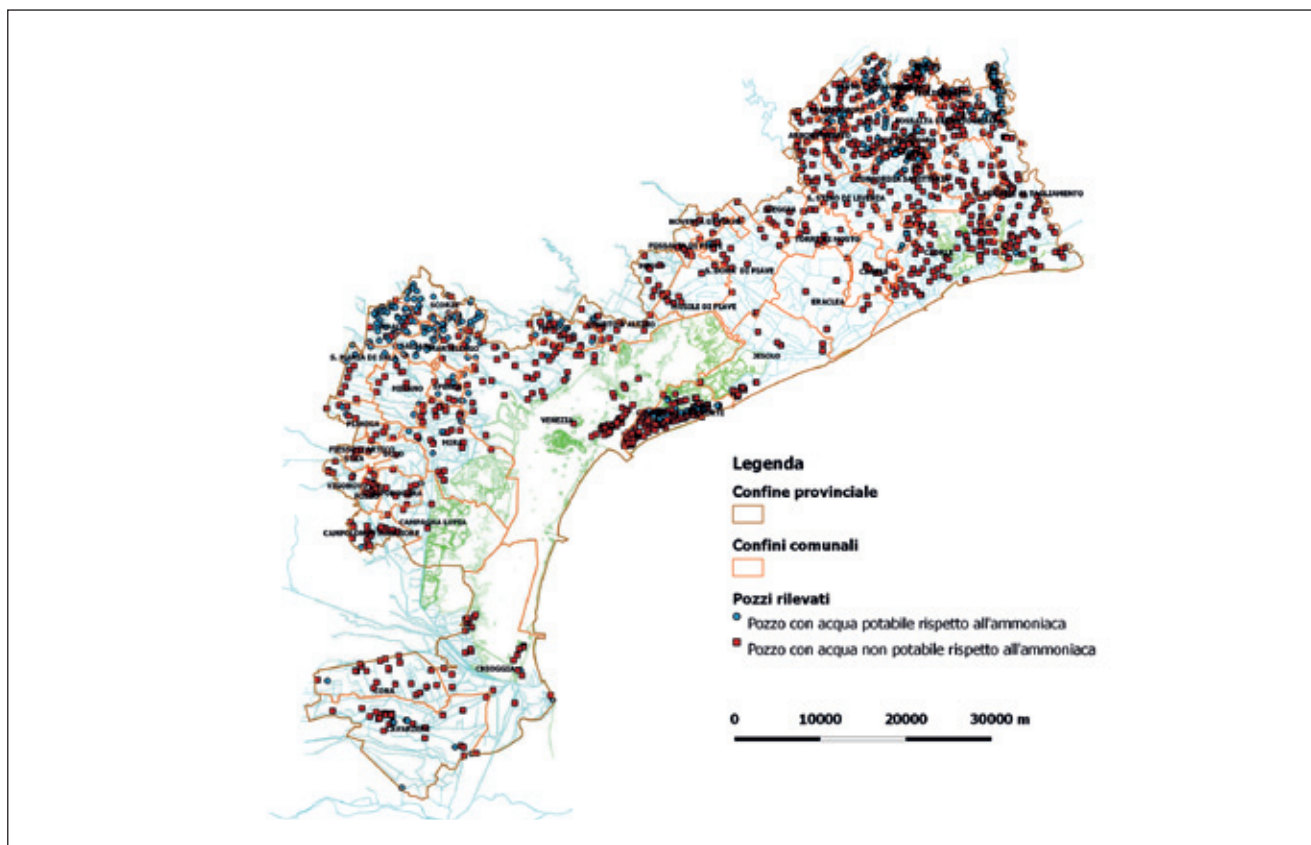


Fig. 12.3 - Distribuzione dei pozzi con concentrazione di ammoniaca al di sopra e al di sotto del limite di potabilità (0,5 mg/l). Dato riferito a tutte le falde confinate.

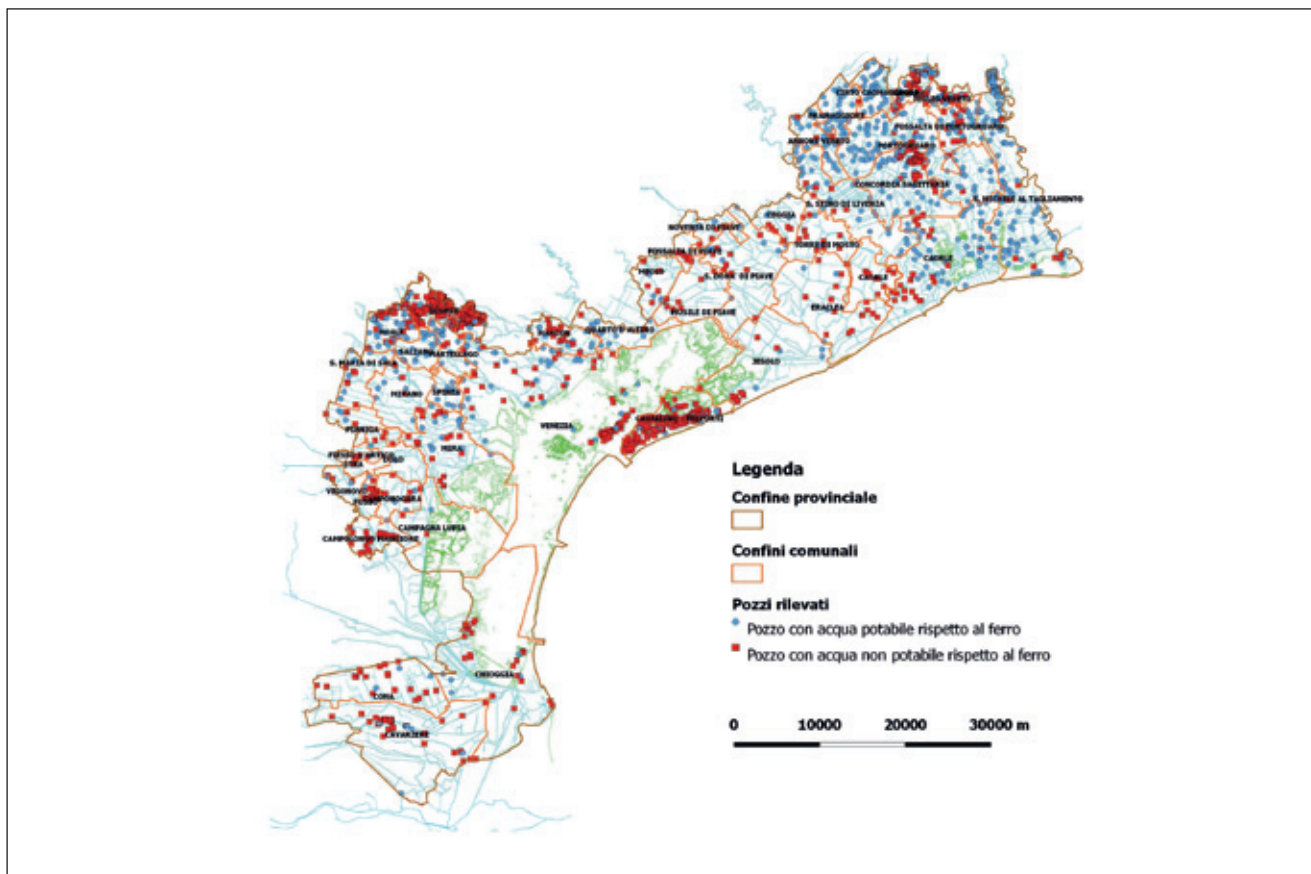


Fig. 12.4 - Distribuzione dei pozzi con concentrazione di Ferro al di sopra e al di sotto del limite di potabilità (0,2 mg/l). Dato riferito a tutte le falde confinate.

secondo meccanismi, di fatto, ancora poco approfonditi.

In generale si può tranquillamente affermare che acquiferi, sia "superficiali" che "profondi", possono essere interessati da elevati valori di alluminio, arsenico, ferro, manganese e ammoniaca di origine geologica.

Il recente "Piano di Tutela delle Acque" della Regione Veneto⁷, nell'*Elaborato K - Analisi delle criticità dei corpi idrici sotterranei*, relativamente all'acquifero differenziato della Media Pianura Veneta afferma:

"I materiali argillosi che confinano gli acquiferi in pressione e li proteggono da eventuali fenomeni di contaminanti provenienti dall'alta pianura sono, per contro, la causa della presenza di alcuni metalli nelle falde artesiane, talora anche profonde, del sistema multifalda della media e bassa pianura veneta. Questo fenomeno è riconducibile ad origini naturali, come risultato della solubilizzazione dei minerali presenti nei livelli argillosi.

Le analisi chimico-mineralogiche eseguite sulla frazione argillosa presente nel sottosuolo hanno consentito di identificare la composizione media dei fillosilicati: illite, clorite, caolinite e montmorillonite. Il confronto con le composizioni chimiche medie di questi minerali argillosi giustifica ampiamente la presenza di ferro, arsenico e manganese nelle acque sotterranee".

Sempre il Piano di Tutela delle Acque nello *Stato di fatto* indica che:

"Per quanto riguarda, invece, la qualità del sistema di falde in pressione la presenza a determinate profondità di alcune sostanze indesiderabili, tra cui manganese, ferro, arsenico e ione ammonio, sembra invece avere origine esclusivamente naturale".

I dati raccolti a scala provinciale in questi anni permettono una prima analisi della distribuzione del citato fondo naturale.

Nella valutazione dei dati va tenuto presente che le misure sono state fatte su pozzi esistenti. Nella perforazione, per ovvi motivi, le falde con qualità peggiori vengono normalmente escluse. I dati che si presentano quindi sicuramente sottostimano i valori di fondo naturale, ma sono comunque di grande interesse perché permettono di distinguere le aree di risorsa di maggior pregio.

Utilizzando i valori delle migliaia di rilievi speditivi in campo effettuati sulle acque sotterranee durante l'indagine idrogeologica, si è effettuata un'analisi statistica della distribuzione di Ferro e Ammoniaca nelle macroaree in cui era stata suddivisa l'indagine stessa (area meridionale - veneziano - riviera del Brenta - miranese - sandonatese - portogruarese, quest'ultima area a sua volta suddivisa in due parti "alto" e "basso" in funzione del limite idropotabile).

Nella Fig. 12.5 si riporta la frequenza e la percentuale cumulativa per le concentrazioni di ammoniaca. Risulta immediatamente evidente la diversa qualità della risorsa nelle diverse aree provinciali. Nella

maggior parte del territorio provinciale, con la sola esclusione del miranese e dell'alto portogruarese, le concentrazioni misurate sono sistematicamente superiori ai valori previsti per le acque potabili (0,5 mg/l). Per alcune aree, come il sandonatese e l'area meridionale, circa la metà dei campioni presenta concentrazioni con valori di dieci volte superiori a quelli previsti per le acque potabili.

Analogo comportamento si ha nella distribuzione del Ferro (Fig. 12.6). Anche in questo caso le acque del miranese e del portogruarese presentano caratteristiche nettamente migliori di quelle del rimanente territorio provinciale, rispettando i valori previsti per le acque potabili (0,2 mg/l). Così pure vi sono molti pozzi (soprattutto nell'area meridionale, nel sandonatese e nel veneziano) dove il fondo naturale è superiore di dieci volte ai limiti previsti per le acque potabili (che peraltro coincidono con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione previsti dalla normativa in tema di bonifica dei siti contaminati⁸).

Nel complesso quindi sia il ferro che l'ammoniaca (che altri elementi) raggiungono valori di molte volte superiori a quelli di potabilità; sono particolarmente elevati nell'area meridionale e nel sandonatese, dove la qualità naturale delle acque sotterranee risulta particolarmente scarsa.

Naturalmente il fenomeno si diversifica non solo arealmente, ma anche con le diverse falde che si incontrano nel sistema multifalde.

Un esempio di questa differenziazione viene riportata per il portogruarese con una elaborazione che utilizza i dati dell'indagine idrogeologica cartografati in ZANGHERI *et al.*, 2001 (per la locale suddivisione in falde si veda il § 12.2.5.1.).

L'elaborazione dei dati dell'ammoniaca (Fig. 12.7) evidenzia come la presenza di origine geologica interessi tutti gli acquiferi con concentrazioni superiori anche di dieci volte i limiti di potabilità. Il fenomeno è particolarmente accentuato nelle falde più superficiali.

Per il ferro (Fig. 12.8) si osserva una situazione diversa rispetto all'ammoniaca, con una distribuzione che risulta maggiormente dipendente dalla profondità. Infatti, mentre per le falde presenti nei primi cento metri il fenomeno risulta ubiquitario e con concentrazioni elevate (oltre dieci volte il limite di potabilità), negli acquiferi sottostanti il fenomeno risulta più limitato, fino a divenire assente oltre i 580 m di profondità.

Il fenomeno del fondo naturale di una serie di elementi di origine geologica è quindi oramai un dato ampiamente accertato, anche se ancora scarsamente indagato nei suoi meccanismi e nella sua distribuzione; vi è da notare che nell'ambito di procedure di carat-

⁷ Il Piano è stato approvato con deliberazione del Consiglio Regionale Veneto n° 107 del 5 novembre 2009.

⁸ Secondo la norma, nel caso di presenza di "fondo naturale", le Concentrazioni Soglia di Contaminazione si assumono pari al valore di fondo (art. 240 del D.Lgs. n° 152/2006).

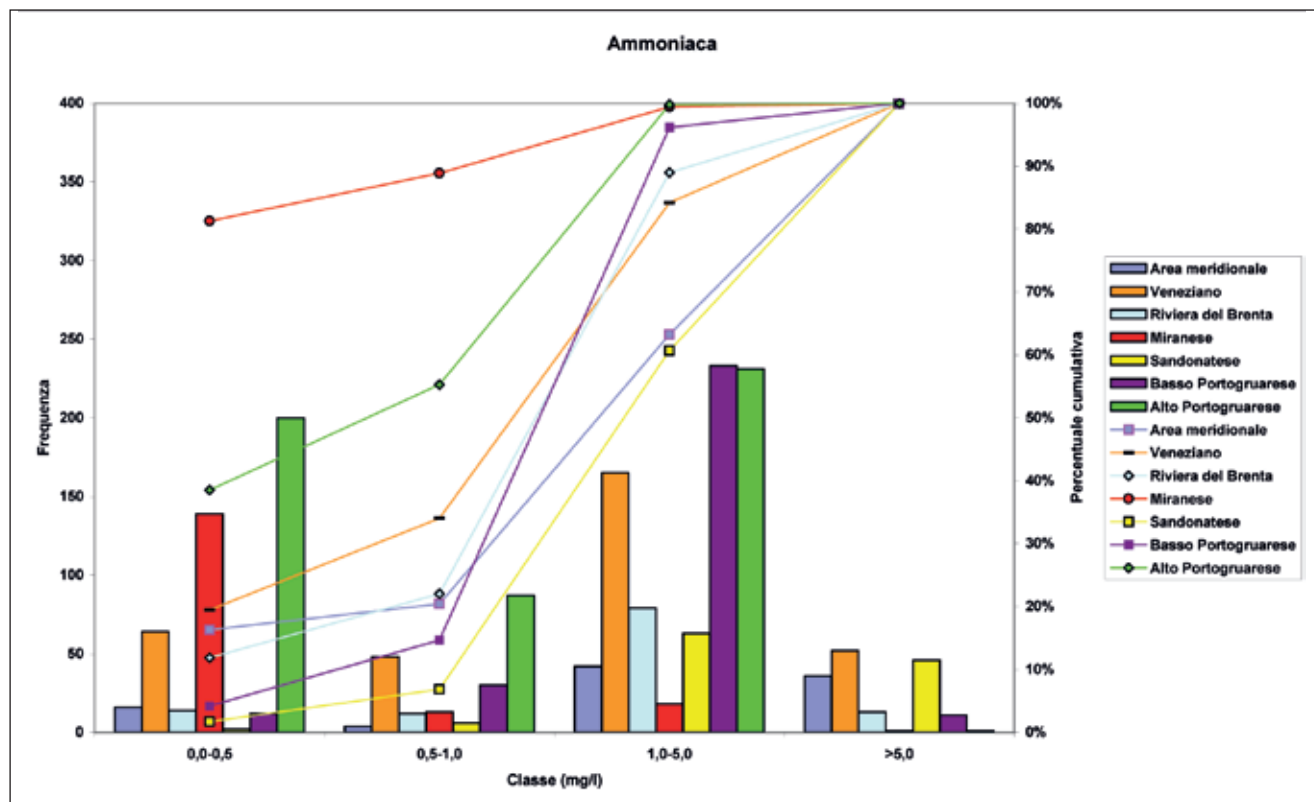


Fig. 12.5 - Distribuzione dell'Ammoniaca per diverse aree del territorio provinciale.

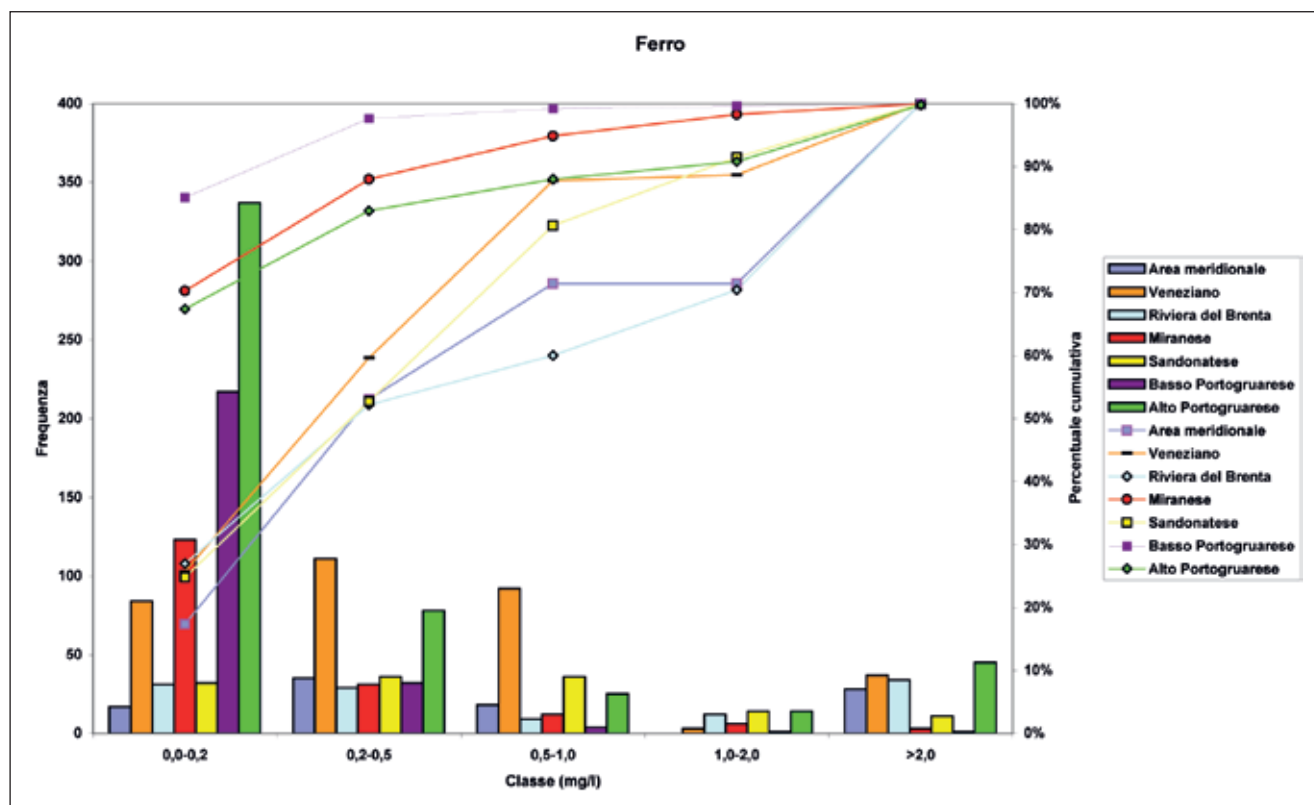


Fig. 12.6 - Distribuzione del Ferro per diverse aree del territorio provinciale.

terizzazione e bonifica di siti contaminati si rilevano ancora casi in cui il fondo naturale viene inspiegabilmente confuso, anche da enti pubblici, con fenomeni di contaminazione antropica.

12.2.3. Parametri idrogeologici

La definizione della distribuzione nelle tre dimensioni dei parametri idrogeologici ha particolare rilevanza nella ricostruzione del quadro idrogeologico comples-

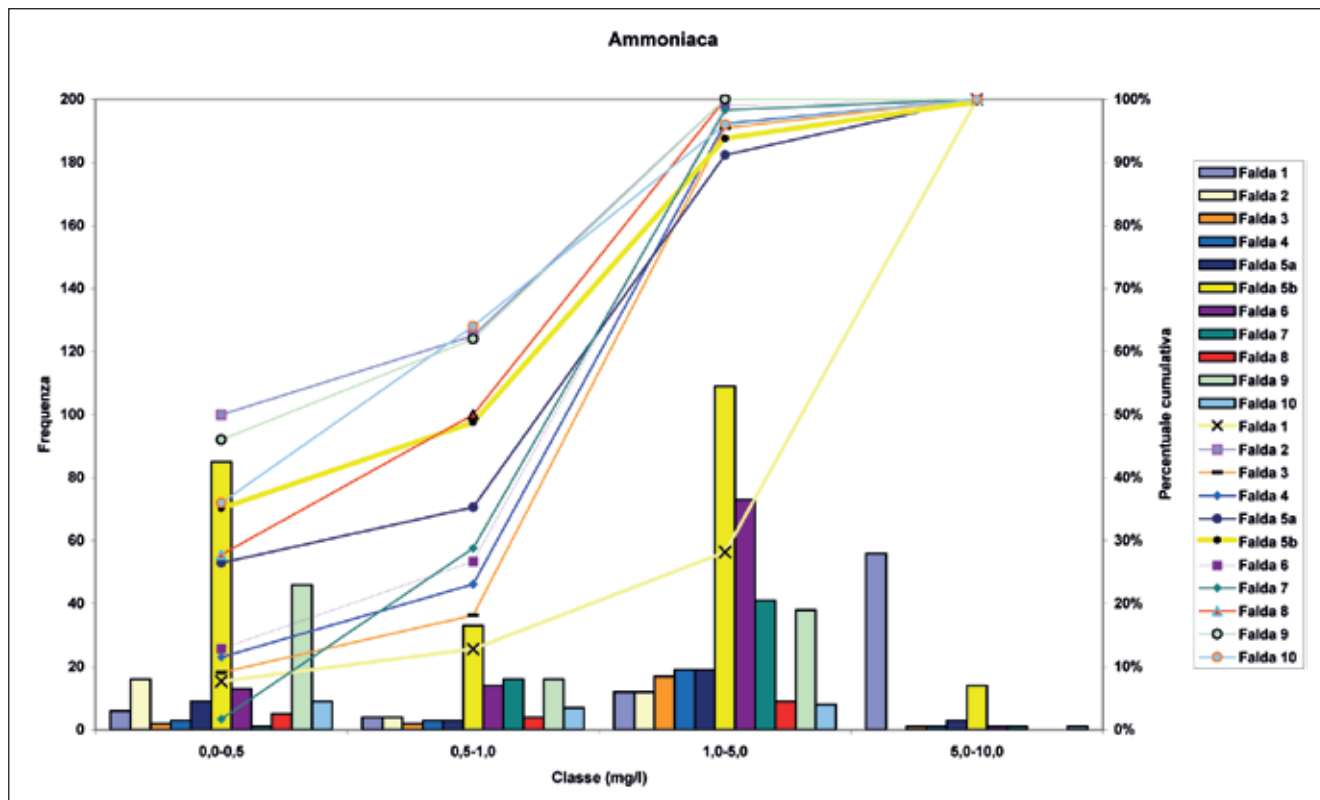


Fig. 12.7 - Distribuzione dell'Ammoniaca negli undici acquiferi individuati nel portogruarese.

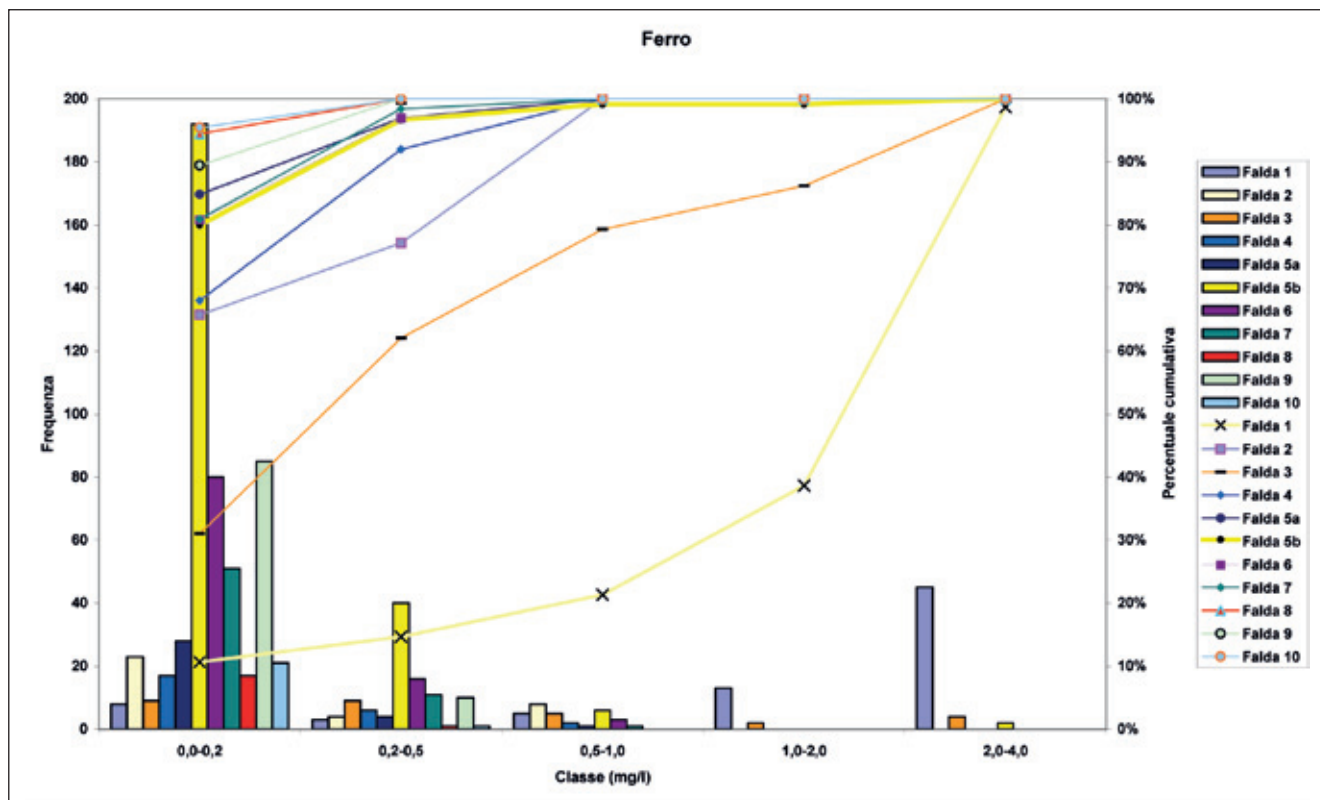


Fig. 12.8 - Distribuzione del Ferro negli undici acquiferi individuati nel portogruarese.

sivo. Infatti la conoscenza dei parametri idrogeologici è necessaria per definire le modalità di deflusso delle acque sotterranee e, più in generale, per analizzarne il comportamento idrodinamico.

Di contro la determinazione di questi parametri comporta la disponibilità di punti di misura, appositamente attrezzabili, e la necessità di misure in campo piuttosto complesse.

L'attuale disponibilità di valori dei parametri idrogeologici si concentra nelle aree che per il loro specifico interesse sono state oggetto di maggiore approfondimento (l'area di risorsa idropotabile, l'area termale del basso portogruarese, gli acquiferi superficiali di Porto Marghera). Misure sperimentali sono tuttora in corso soprattutto sugli acquiferi superficiali nell'ambito del progetto "IDRO"⁹.

La Tav. 11 riporta la distribuzione delle misure di trasmissività ottenute da prove idrogeologiche in configurazione "pozzo-piezometro".

Un'analisi dei dati è possibile solo in riferimento ai singoli acquiferi. Per questo motivo una sintesi dei dati disponibili è stata riportata nelle analisi svolte per ciascuna area (§ 12.2.5).

In generale si hanno valori di permeabilità che raggiungono massimi di 10^{-3} m/s in acquiferi ghiaiosi nell'area di risorsa idropotabile.

12.2.4. Risorse idriche sotterranee: sintesi delle conoscenze per singole aree

In questa parte si riporta una breve sintesi delle conoscenze idrogeologiche sulle diverse parti del territorio provinciale, considerando la seguente suddivisione:¹⁰

- portogruarese;
- sandonatese;
- area centrale (veneziano, miranese, riviera del Brenta);
- area meridionale (cavarzerano - chioggiotto).

12.2.4.1. Le acque sotterranee del portogruarese

La serie idrogeologica dei primi 600 metri di sottosuolo è schematizzabile in 11 acquiferi, come illustrato dai due profili idrogeologici riportati in Tav. 11.

Non tutte le falde sono continue sull'intero territorio indagato, ma alcune tendono a chiudersi spostandosi da nord verso sud. Si tratta in particolare delle tre falde più superficiali.

L'intera serie è caratterizzata da acque dolci. Le stesse acque termali contenute nei livelli plioquaternari hanno conducibilità elettrica normalmente inferiore ai 1000 μ S/cm. Dati AGIP collocano l'interfaccia acqua dolce-acqua salata a una profondità di 775 m nei pressi di S. Stino di Livenza e di 605 m a Cesarolo (San Michele al Tagliamento).

Le principali caratteristiche degli acquiferi sono riassunte dal seguente schema (Tab. 12.1). I valori riportati sono da intendersi come valori tipici e corri-

Falda	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. elettrica (μ S/cm)	Fe (mg/l)	NH ⁴⁺ (mg/l)	Preval. su p.c. (m)	Q spont. max (l/s)	Litologia prevalente
1	10 - 20	14 - 16	990 - 3500	0,3 - 3,2	0,8 - >3	no	no	Sabbie e ghiaie
2	35 - 55	14 - 15	460 - 470	0,1 - 0,3	0,9 - 1,8	no	no	Sabbie
3	60 - 90	14 - 15	510 - 1700	0,1 - 3,2	3,0 - >3	0 - 0,3	0 - 0,2	Sabbie
4	100 - 130	15 - 20	400 - 810	0,1 - 0,5	1,4 - >3	0 - 0,6	0 - 0,2	Sabbie
5a	150 - 180	14 - 19	375 - 980	0,1 - 0,4	0,8 - >3	0 - 1,0	0 - 0,2	Ghiaie e sabbie
5b	190 - 240	15 - 23	360 - 700	0,1 - 0,4	0,8 - >3	0 - 1,7	0 - 0,3	Ghiaie e sabbie
6	250 - 315	16 - 24	400 - 600	0,0 - 0,3	1,5 - >3	0 - 1,4	0 - 0,5	Ghiaie e sabbie
7	320 - 380	16 - 25	400 - 590	0,0 - 0,2	0,8 - >3	0 - 3,9	0,1 - 0,8	Sabbie
8	400 - 460	18 - 31	370 - 630	0,0 - 0,2	0,4 - >3	0 - 6,5	0 - 2,6	Sabbie
9	480 - 560	25 - 45	340 - 540	0,0 - 0,2	0,1 - 2,0	4 - >20	0,3 - 3,8	Sabbie e ghiaie
10	> 580	24 - 48	330 - 2400	0,0 - 0,1	0,1 - 1,9	4 - >20	0,2 - 4,1	Sabbie e ghiaie

Tab. 12.1 - Schema riassuntivo dei principali parametri chimico-fisici degli acquiferi.

spondono ai valori risultanti al decimo e al novantesimo percentile. Data l'estensione dell'area, possono variare in un *range* piuttosto ampio.

E' possibile raggruppare le falde dotate di parametri chimico - fisici e idrogeologici con valori simili fra loro. È stato così possibile individuare sei unità principali che si posizionano, rispetto al piano campagna, alle seguenti profondità medie: 10 - 20 m; 35 - 55 m; 60 - 130 m; 150 - 380 m; 400 - 460 m; >480 m.

La notevole prevalenza sul piano campagna della piezometrica che, nelle falde più profonde in alcuni casi supera i 20 m, ha favorito un ampio uso di questa risorsa. Infatti, pozzi con diametro di 2-3", e quindi realizzabili con tecnologie estremamente veloci ed economiche, sono in grado di fornire portate di 3-4 l/s.

La facilità di estrazione dell'acqua, legata all'artesianesimo delle falde, ha però favorito un diffuso uso non corretto della risorsa idrica (anche termale). Infatti si ha una frequente presenza di pozzi "a getto continuo".

Gli acquiferi hanno valori di permeabilità massima attorno ai 10^{-3} m/s; alcune prove hanno determinato permeabilità limitate a 10^{-6} m/s; considerando che le ghiaie pulite possiedono in genere valori di permea-

⁹ In proposito si rinvia alla successiva apposita scheda.

¹⁰ La suddivisione qui utilizzata ricalca sostanzialmente, con accorpamenti per l'area centrale, quella dei Distretti di Protezione Civile di cui al capitolo 10 (Sismicità).

bilità superiori a 10^{-2} m/s e che le sabbie fini hanno valori medi di circa 10^{-5} m/s, risulta che le litologie degli acquiferi oggetto di prova sono caratterizzate in prevalenza da sabbie medie e fini o, nel caso di materiali più grossolani (sabbie grosse e ghiaie), da compresenza di materiali a granulometria più fine. Non si evidenziano nette diversità tra le varie falde nei parametri idrogeologici; questi tendono a modificarsi più spostandosi da monte a valle all'interno della stessa falda che tra una falda e l'altra, anche se va precisato che il numero delle determinazioni disponibili è ancora piuttosto limitato.

La seguente tabella (Tab. 12.2) riporta i valori tipici di ciascuna falda. Per alcune falde non è al momento disponibile un numero sufficiente di determinazioni.

La figura 12.9 riporta i valori, ricavati sperimentalmente dalle prove, relativamente alle determinazioni di trasmissività e di permeabilità, ivi comprese quelle sulle falde 8, 9 e 10 che in parte del portogruarese sono termali.

Per quanto riguarda la produttività, le falde più profonde (8, 9 e 10) sono in grado di fornire portate spontanee nettamente superiori alle falde sovrastanti. Ciò

Falda	k (m/s)	T (m ² /s)
2	1.20E-04	5.10E-03
4	3.00E-06	3.60E-05
5	4.20E-05	2.50E-04
6	1.20E-04	8.30E-04
7	4.80E-05	7.10E-04
9	7.43E-05	1.30E-03
10	4.00E-04	3.70E-03

Tab. 12.2 - Valori tipici di trasmissività e permeabilità per falda.

grazie a una prevalenza rispetto al piano campagna, spesso superiore a 10 m. I pozzi presenti sono stati oggetto di due specifici rilevamenti idrogeologici, uno svolto nel 1997¹¹ e uno nel 2004. Si è verificata una tendenza a una diminuzione dei livelli piezometrici che si concentra su alcune aree e su alcune falde. I censimenti hanno anche permesso la progettazione di una rete di monitoraggio dei livelli piezometrici.

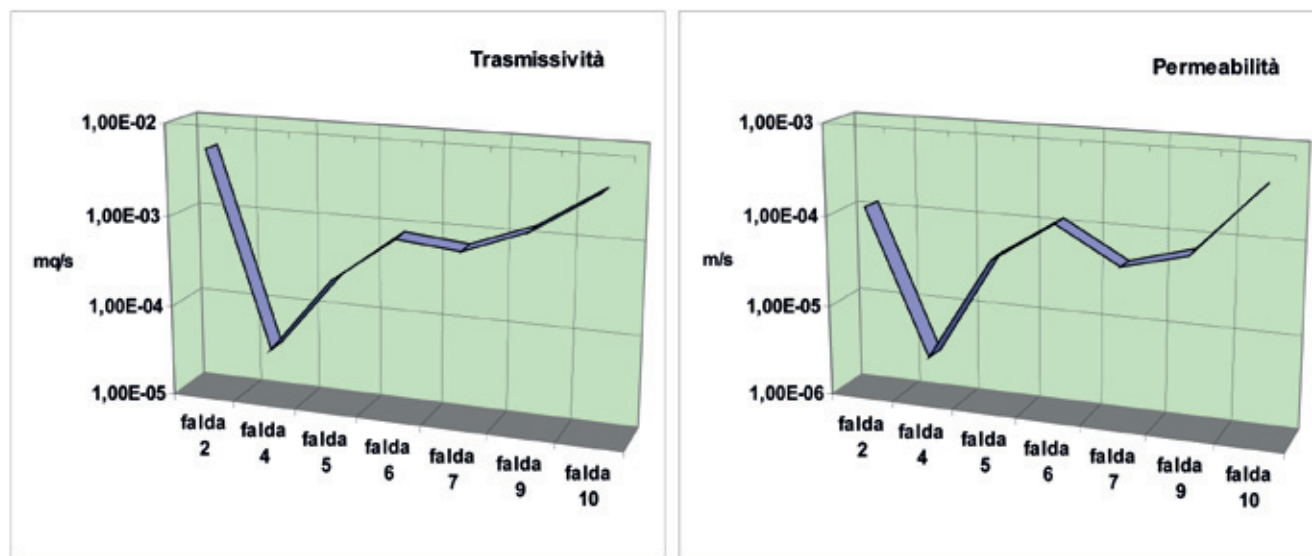


Fig. 12.9 - Valore medio di permeabilità e trasmissività per falda (falde termali e falde sovrastanti).

12.2.4.2. Le acque sotterranee del sandonatese

La ricostruzione del sottosuolo di questa parte del territorio si basa su oltre trenta stratigrafie con profondità superiore a 30 metri, ricavate prevalentemente durante la terebrazione di pozzi idrici; esse, seppur di scarso dettaglio, sono distribuite abbastanza omogeneamente ma con buona densità solo nella parte occidentale e meridionale dell'area, lasciando le parti orientale e settentrionale abbastanza scoperte e quindi con pochi dati a disposizione.

Il sottosuolo risulta essere costituito da un'alternanza di litotipi prevalentemente argilloso-limosi, a bassa o bassissima permeabilità, e di litotipi sabbiosi e sabbioso-limosi, aventi estensione laterale e verticale alquanto discontinua e variabile, a permeabilità media

o bassa con una prevalenza in percentuale dei termini più coesivi rispetto a quelli granulari. Intercalati a questi litotipi si rilevano molto spesso, e in tutto il territorio, degli orizzonti torbosi, più o meno mineralizzati, principalmente nei terreni più superficiali. Questi terreni hanno uno spessore complessivo superiore ai 600 metri.

La situazione idrogeologica locale è quindi condizionata dai forti spessori di materiali argilloso-limosi che riducono drasticamente la permeabilità verticale (*acquicludi*); in essi si intercalano letti prevalentemente sabbioso-limosi e livelli sabbiosi sovrapposti, sedi di

¹¹ Con ripetizione di alcune misure fino al 2001.

falde idriche in pressione, aventi comunque una potenzialità molto bassa.

Nel complesso quindi abbiamo risorse idriche in quantità nettamente inferiore rispetto all'area del portogruarese precedentemente descritta. Ciò è legato principalmente ai diversi caratteri geologico-stratigrafici, a loro volta legati a un differente assetto strutturale (un importante lineamento tettonico separa l'area del portogruarese da quella del sandonatese, in coincidenza indicativamente con il Livenza).

La maggior parte dei pozzi (Fig. 12.10) oggetto di rilevamento (43%) attinge dalle falde comprese tra i 109 e i 206 metri di profondità. Queste falde sono prevalentemente artesiane nella parte orientale del territorio, mentre a ovest sono risalenti. Complessivamente sono caratterizzate da una rapida depressurizzazione e da basse portate spontanee, spesso inferiori a 1 l/s. La qualità delle acque estratte, come notato, è complessivamente scadente o pessima relativamente alle concentrazioni di ammoniaca e ferro. Per quanto riguarda l'ammoniaca, le concentrazioni risultano quasi totalmente (98%) superiori (e spesso notevolmente) ai limiti di potabilità, mentre la concentrazione in ferro rientra nei limiti di potabilità solo in 26 pozzi (21%). Si registrano inoltre elevate concentrazioni naturali di arsenico e manganese (ZANGHERI & AURIGHI, 2001).

A causa della scadente qualità delle acque, i pozzi non sono utilizzati per scopi potabili; tutto il sandonatese è servito da rete acquedottistica, i cui punti di prelievo sono ubicati esternamente al territorio provinciale¹².

Gli acquiferi, specialmente nei comuni di Jesolo, Eraclea e Caorle, sono costituiti da livelli sabbiosi a limi-

tata estensione laterale aventi conducibilità idraulica modesta; essi sono sedi di falde a ricarica lenta. Nella parte settentrionale del territorio vi sono falde relativamente più produttive, specialmente oltre i 300 metri di profondità, che permettono l'estrazione di acque meno scadenti qualitativamente, ma sempre condizionate dall'eccesso di ammoniaca e dalla presenza di gas (metano).

La maggior parte delle acque estratte è per uso domestico (33%), industriale (18%) e irriguo (16%); vi sono comunque molti pozzi non utilizzati e abbandonati (23%). Va notata la presenza di alcuni pozzi profondi 500-600 metri che forniscono acqua a temperature di oltre 25°C.

12.2.4.3. Le acque sotterranee dell'area centrale

La situazione idrogeologica dell'area centrale della provincia è anch'essa caratterizzata da una serie di acquiferi confinati e sovrapposti, in pressione, per cui, nel sottosuolo, si alternano per alcune centinaia di metri livelli di sedimenti fini (argille e limi, impermeabili o poco permeabili) e di sedimenti grossolani (sabbie e ghiaie, permeabili). Quest'ultimi contengono abbondanti acque sotterranee in pressione che hanno la loro alimentazione in territori posti a monte, al di fuori della provincia di Venezia.

Le falde acquifere sono alloggiare in livelli ghiaiosi nelle parti più a monte, dove si hanno le risorse idriche più abbondanti e di interesse idropotabile (Fig.

¹² Questo aspetto sarà poi trattato nel capitolo 15 "Georisorse" e raffigurato nella Tav. 14.

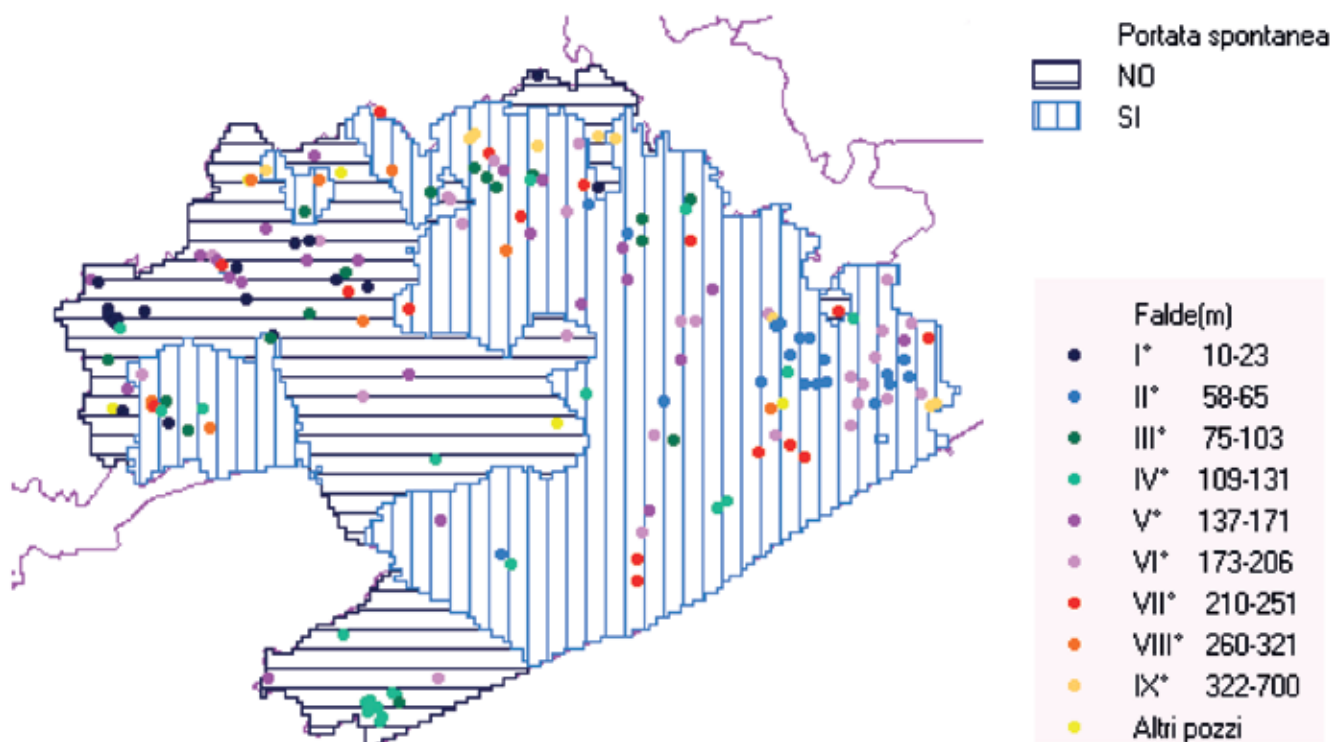


Fig. 12.10 - Distribuzione areale dei pozzi con portata spontanea e pozzi censiti suddivisi per profondità.

12.11), mentre nel rimanente territorio sono contenute in terreni sabbiosi.

I dati caratterizzanti le condizioni idrauliche dei differenti acquiferi indicano che le falde a maggiore disponibilità d'acqua risultano essere quelle localizzate a profondità di 260-300 m, che mostrano prevalenze sul piano campagna anche di alcuni metri.

Il riconoscimento e la suddivisione dei vari livelli acquiferi è stato possibile con maggiore dettaglio nell'area di risorsa idropotabile, grazie all'analisi delle stratigrafie di pozzo, alla distribuzione dei filtri e anche grazie al confronto tra i valori di temperatura e conducibilità delle acque.

Nell'area di risorsa idropotabile della parte centrale della provincia sono stati così riconosciuti dieci livelli acquiferi sovrapposti, da 15 a oltre 310 m di profondità dal piano campagna (si veda il profilo riportato nella cartografia della Tav. 11). Di questi, tre acquiferi in particolare (identificati come "primo", "quarto" e "nono", localizzati rispettivamente a profondità medie di 15-60, 130-140 e 270-310 m) risultano strategici;

da essi infatti, proviene il 96% delle acque distribuite dagli acquedotti dell'AATO Laguna di Venezia e vanno quindi prioritariamente tutelati. Gli acquiferi sono tutti artesiani, a eccezione del primo, artesiano solo localmente.

Per ogni acquifero, nell'area di risorsa idropotabile è stata definita la profondità media del tetto e del letto, e quindi un *range* medio di spessore (Tab. 12.3).

Le linee isopotenziali mostrano mediamente per tutte le falde una direzione generale di flusso NO-SE; tuttavia ogni falda possiede un proprio livello potenzimetrico diverso dalle altre. Una volta ricostruite le carte a isopotenziali è stato quindi possibile definire un gradiente idraulico nelle varie zone di interesse, che varia tra 0,06% e 0,21% (CAMBRUZZI *et al.*, 2010a), e che rappresenta uno dei parametri fondamentali per il calcolo dei flussi sotterranei.

La tabella 12.4 riporta, con i rispettivi *range*, i valori di trasmissività e gradiente misurati nei diversi acquiferi, sempre in riferimento all'area di risorsa idropotabile.

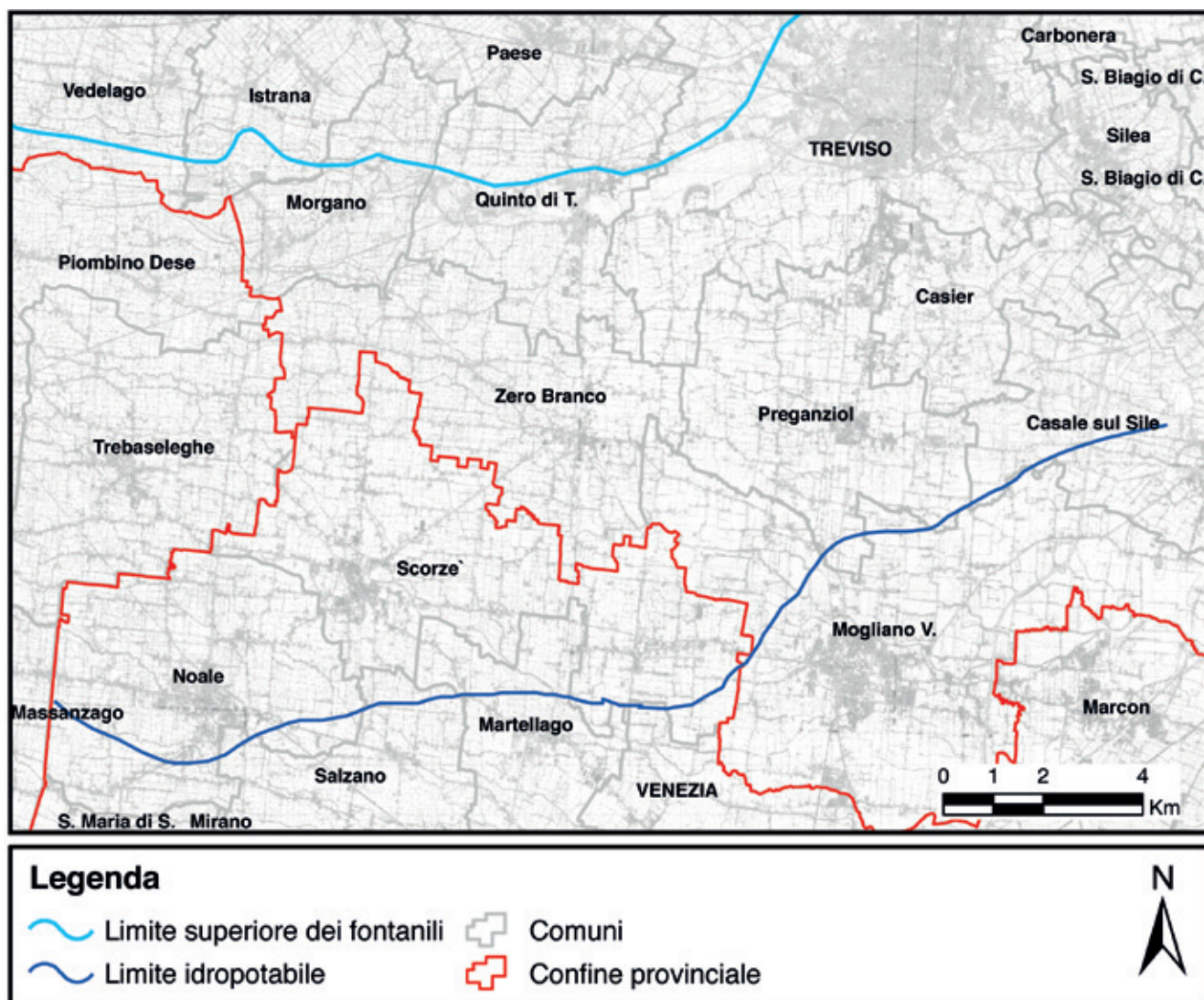


Fig. 12.11 - Dettaglio dell'area di risorsa idropotabile per l'area centrale e per l'area posta a monte, in provincia di Treviso.

Acquifero	Profondità da p.c. (m)
I	15-60
II	65-90
III	100-120
IV	130-140
V	145-160
VI	180-200
VII	210-220
VIII	230-260
IX	270-310
X	>310

Tab. 12.3 - *Range* di profondità dal piano campagna dei vari acquiferi, nell'area di risorsa idropotabile della parte centrale della provincia.

A titolo di esempio, in Fig. 12.12 si riportano le isopotenziati di uno degli acquiferi di maggior interesse a fini acquedottistici e di imbottigliamento: il nono. Considerando nel suo insieme l'area centrale della provincia, la successione idrogeologica non è sempre definita con sufficiente dettaglio. Oltre che nell'area di risorsa idropotabile, la struttura del sottosuolo è ben conosciuta solo nell'area circumlagunare, grazie agli studi svolti negli anni '70 in relazione alla subsidenza di Venezia (MOZZI G. *et al.*, 1975; DAZZI *et al.*, 1994). I pozzi nell'area centrale¹³ sono distribuiti non uniformemente sul territorio, con una maggiore concentrazione nel settore settentrionale (comuni di Scorzé, Noale, Salzano e Martellago) e, al di fuori dell'area di risorsa idropotabile, nel litorale del Cavallino.

Il territorio è quasi interamente servito dalla rete acquedottistica pubblica. La profondità dei pozzi sfruttati per l'approvvigionamento idrico autonomo supera i 300 m; il 43,3% è caratterizzato da erogazione spontanea.

La zona in cui sono presenti acque potabili è situata nella fascia settentrionale dell'area, relativamente in particolare alle falde intercettate dall'acquedotto che risulta di ottima qualità. L'acqua è invece quasi sempre non potabile nella parte più a valle per l'alto contenuto di ammoniaca.

12.2.4.4. Le acque sotterranee dell'area meridionale

Nel complesso le acque sotterranee di quest'area si presentano qualitativamente e quantitativamente di limitato interesse. Le falde acquifere rilevate sono alloggiati in livelli sabbiosi. Fatto rilevante è la generale non potabilità delle falde, dovuta a cause naturali, per eccesso di ferro e ammoniaca e altri elementi.

Abbondante risulta anche la frazione gassosa (generalmente connessa con la presenza di metano) rinvenibile nelle acque a varia profondità.

Le misure della concentrazione del ferro (Fig. 12.13) mostrano che i valori tendono a diminuire (retta di regressione lineare a pendenza negativa) con la pro-

Acquifero	T (m ² /s)	i %
I	6,0E-02 ÷ 2,6E-01	0,06% ÷ 0,14%
II	5,6E-02 ÷ 6,4E-02	0,10%
III	5,8E-03 ÷ 4,6E-02	0,06% ÷ 0,14%
IV	3,1E-02 ÷ 9,6E-02	0,10% ÷ 0,12%
V	1,7E-02 ÷ 3,3E-02	0,10% ÷ 0,14%
VI	7,9E-03 ÷ 2,2E-01	0,06% ÷ 0,14%
VII	8,6E-03 ÷ 8,8E-02	0,06% ÷ 0,15%
VIII	1,3E-02 ÷ 5,6E-02	0,08% ÷ 0,16%
IX	1,2E-02 ÷ 1,6E-01	0,06% ÷ 0,21%

Tab. 12.4 - *Range* di trasmissività e gradiente misurati nei diversi acquiferi.

fondità, assumendo anche un minor grado di dispersione.

Per le concentrazioni di ammoniaca, invece, le rette di regressione lineare e logaritmica evidenziano, con l'aumento della profondità, un aumento generale della quantità di ammoniaca, peraltro caratterizzata da un'accentuata dispersione nei suoi valori (Fig. 12.14).

Il forte contenuto di ammoniaca nelle acque campionate è da mettere in relazione a una generale diffusione di sedimenti ricchi di torba, la cui frazione aumenta probabilmente negli strati più profondi.

Per quel che riguarda le misure della conducibilità elettrica dell'acqua, si possono osservare valori medi, nell'intera area di studio (Fig. 12.15), che generalmente oscillano attorno ai 1000 μ S/cm.

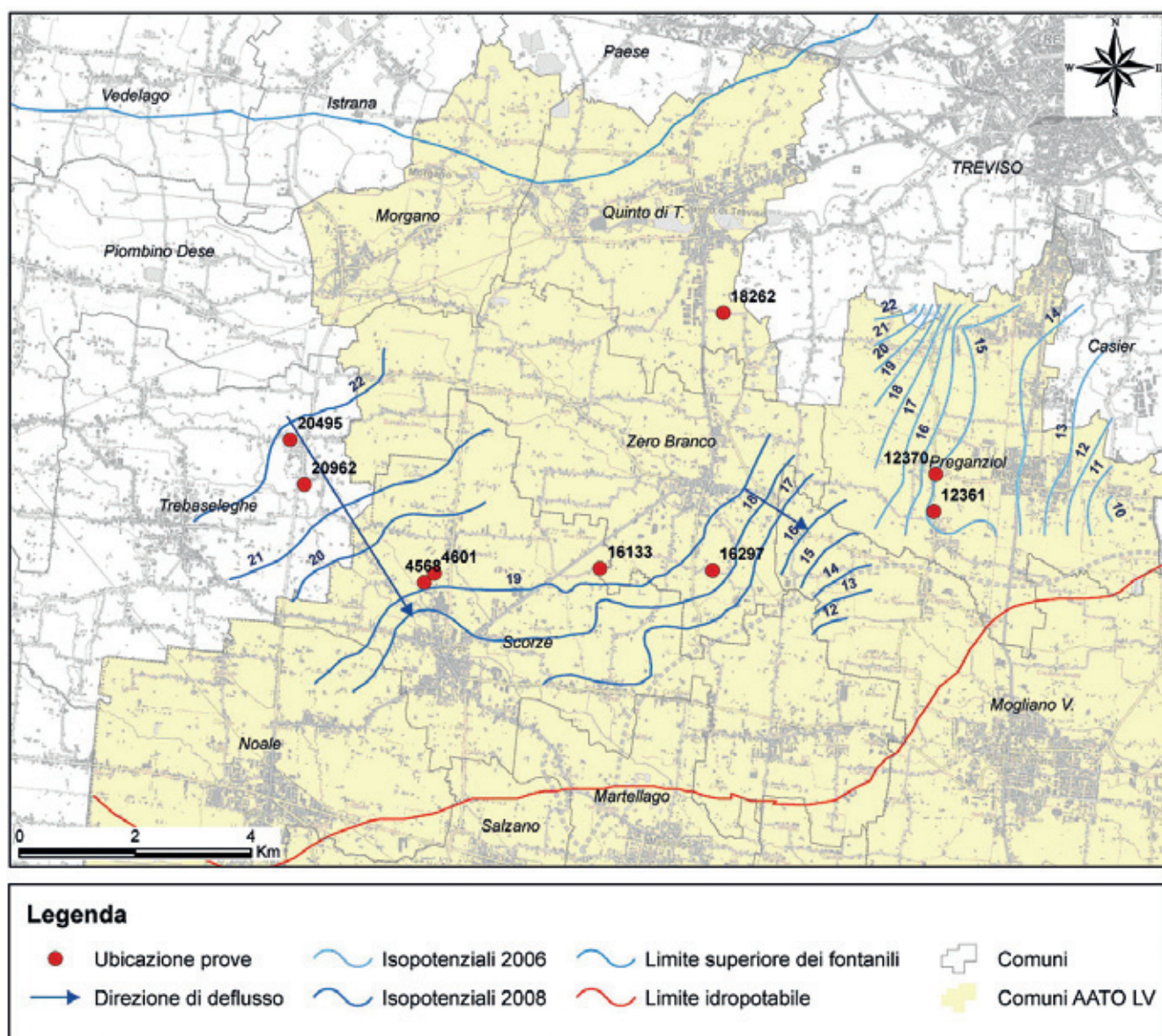
Nell'intervallo di profondità 170-200 m si osserva che, procedendo dall'entroterra verso la costa, la conducibilità aumenta al punto che la fascia più orientale è caratterizzata dalla totale assenza di pozzi.

Tale assenza è in relazione con un importante fenomeno d'intrusione salina il cui studio dettagliato è oggetto di un'altra parte del presente lavoro (capitolo 17 "Intrusione salina"), cui si rimanda.

Nel territorio dell'area meridionale, l'uso attuale delle acque sotterranee dalle falde in pressione è piuttosto ridotto, assai meno rilevante di quello operato in altre aree della provincia (miranese e alto portogruarese). Esiste comunque approvvigionamento autonomo di acqua di falda anche a sensibile profondità (200-300 metri).

L'acqua emunta viene utilizzata prevalentemente a uso irriguo e domestico. Va notato che i pozzi a uso domestico prelevano una quantità d'acqua molto limitata. Non esistono pozzi privati a uso potabile.

¹³ Per maggiori dettagli in proposito si veda il capitolo 15 "Georisorse" e la Tav. 14.



Pozzo n°	Tipo di prova	T (m ² /s)	S	Tipo di prova	T (m ² /s)	S
12361	Prova di pozzo	7,5E-03				
12370	Prova di pozzo	4,0E-02				
16133	Prova di pozzo	4,6E-03		Prova di falda	2,5E-02	1,5E-02
16297	Prova di pozzo	1,9E-02				
18262	Prova di pozzo	2,4E-01				
20495	Prova di pozzo	4,4E-02				
20962	Prova di pozzo	2,7E-01				
21181	Prova di pozzo	2,0E-02				
4568	Prova di falda	1,7E-01	1,3E-04			
4601	Prova di falda	2,3E-01	1,2E-04	Prova di falda	2,9E-01	1,4E-04

Fig. 12.12 - Carta di sintesi del nono acquifero con isopotenziali, punti di prova e parametri idrogeologici (da CAMBRUZZI *et al.*, 2010). Sono presenti anche dati sull'area a monte ricadente in provincia di Treviso.

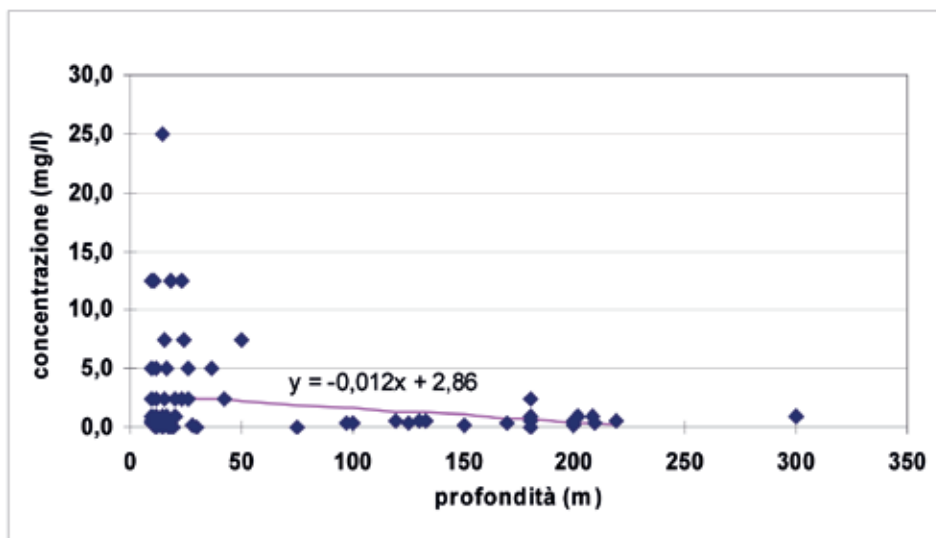


Fig. 12.13 - Concentrazioni di ferro e relative linee di tendenza (regressione lineare) in relazione alla profondità.

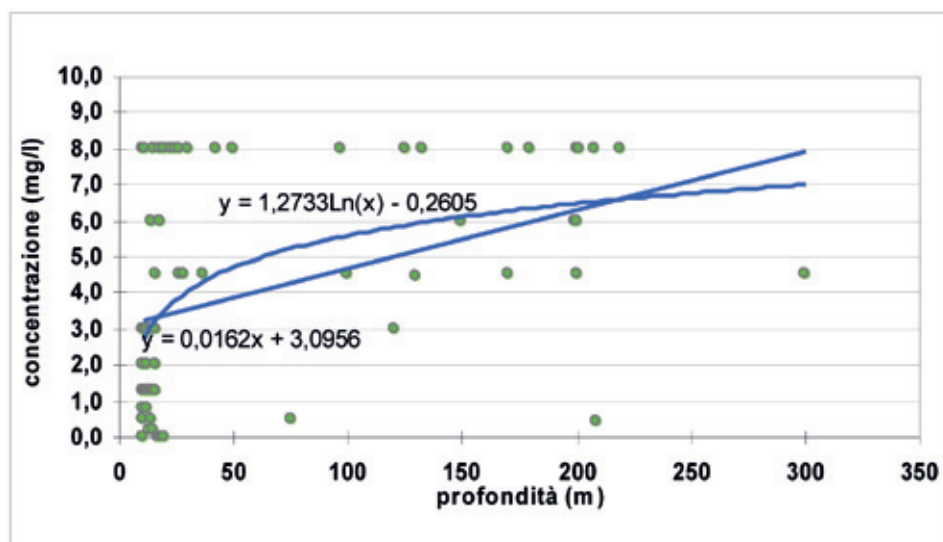


Fig. 12.14 - Concentrazioni di ammoniaca e relative linee di tendenza (regressione lineare e logaritmica) in relazione alla profondità.

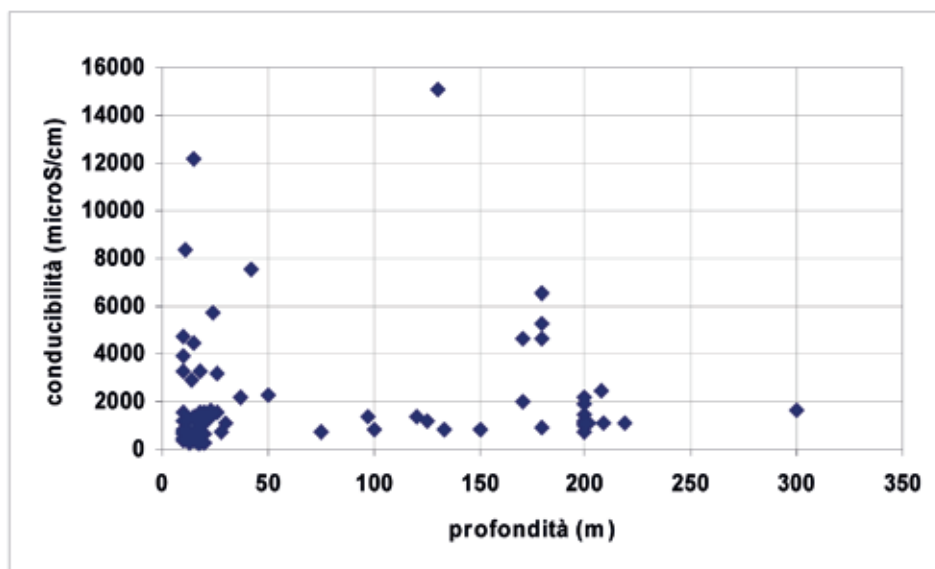


Fig. 12.15 - Variazione della conduttività elettrica dell'acqua in funzione della profondità.

Esistono in comune di Cavarzere, nella golena dell'Adige in località Martinelle, alcuni pozzi di piccolo diametro (assimilabili alle punte di un *well point*), profondi 15-20 m, a uso acquedottistico; essi prelevano l'acqua di subalveo dell'Adige stesso. Nel rimanente territorio non si hanno altri pozzi a uso acquedottistico.

Questa parte del territorio provinciale è risultato nel suo insieme molto povero di risorse idriche sotterranee. Infatti le falde sono contenute in livelli sabbiosi a permeabilità modesta. I pozzi possono fornire portate di qualche litro al secondo nei casi più favorevoli. Inoltre le acque fornite mostrano parametri qualitativi quasi sempre non idonei all'uso potabile. L'intero territorio è comunque servito da rete idrica pubblica per uso potabile.

12.2.5. Le risorse termali del portogruarese

12.2.5.1. Struttura geologica e origine del termalismo

L'esistenza di un'ampia anomalia geotermica nel portogruarese è largamente testimoniata dalle precedenti indagini eseguite sui pozzi per acqua captanti acquiferi presenti a profondità comprese tra 150 e 700 m. Le falde termali attualmente sfruttate sono distribuite in orizzonti prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi tra loro sovrapposti nella copertura sedimentaria prevalentemente quaternaria.

L'anomalia geotermica si estende su una vasta area della bassa pianura del Tagliamento andando a interessare in parte il Veneto e in parte il Friuli Venezia Giulia.

Si riporta nella Fig. 12.16 l'individuazione dell'intera area termale, le cui caratteristiche verranno poi approfondite per la parte ricadente in provincia di Venezia. Le isoterme relative a profondità maggiori di 400 m dal piano campagna delimitano un duomo positivo maggiore di 40 °C tra gli abitati di Cesarolo - Brussa - Bevazzana nel comune di San Michele al Tagliamento (Tav. 11).

Ai fini dell'origine dell'anomalia geotermica è determinante la presenza di un alto strutturale ("dorsale di Cesarolo") della Piattaforma Mesozoica Friulana, interessato da importanti sistemi di dislocazioni orientati ENE-OSO e NO-SE con un rigetto di anche 500 m in corrispondenza della linea Caorle - Vittorio Veneto. Il pozzo AGIP Cesarolo1 ha incontrato alla profondità di 727 m il tetto dei calcari che costituiscono la Piattaforma Mesozoica Friulana, ove è stata riscontrata la temperatura compresa tra 60 e 65 °C. Sopra sono presenti depositi sabbiosi, argillosi e calcareo-arenacei terziari il cui tetto si trova a circa 475 m di profondità; seguono depositi sabbiosi limosi argillosi e torbosi quaternari di origine marina, lagunare e continentale. Più a ovest, presso la Valle Zignago, il pozzo AGIP Cavanella1 ha individuato il tetto del cretaceo a 1140

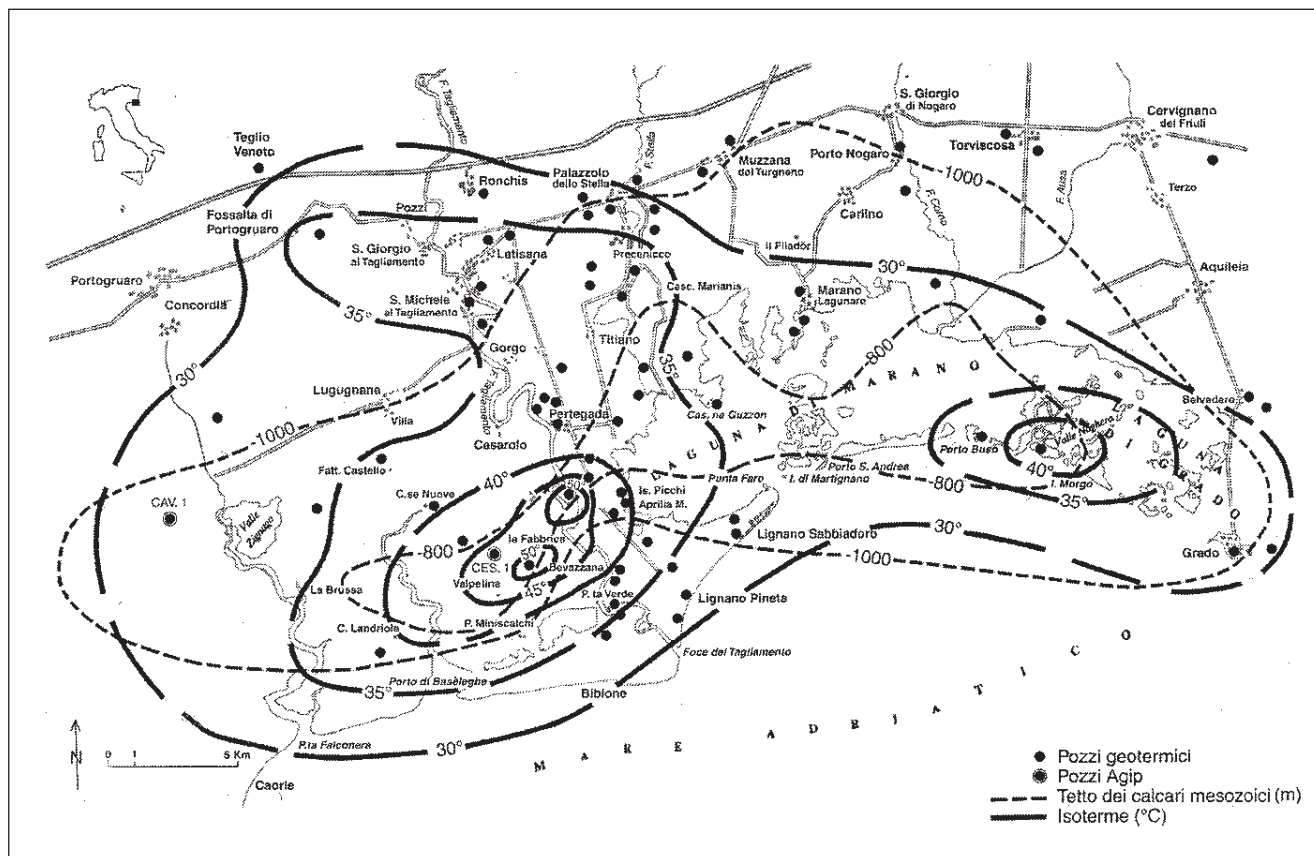


Fig. 12.16 - Inquadramento dell'anomalia geotermica della bassa pianura del Tagliamento. Carta delle isoterme, riferite alla base del Quaternario, e delle isobate del tetto dei calcari mesozoici (da BARNABA, 2001).

m e il tetto del terziario a 745 m circa. In pochi chilometri di distanza la copertura quaternaria aumenta così di 270 m di spessore.

L'alto strutturale è caratterizzato da un nucleo centrale costituito da carbonati di piattaforma, sovrapposti a formazioni di tipo dolomitico e limitati ai lati da formazioni carbonatiche di mare profondo. Questa particolare situazione consente lo sviluppo di un serbatoio entro il quale è possibile si verifichi la circolazione convettiva dei fluidi nei livelli più permeabili della parte superiore della struttura. La presenza di una copertura flyschoidale di scarsa permeabilità, interposta fra il tetto dei carbonati e i sovrastanti sistemi acquiferi miocenici e/o quaternari, consente una trasmissione del calore principalmente conduttiva che riscalda gli acquiferi confinati.

Sulla base di questi dati è stato formulato un modello adatto a spiegare l'anomalia termica superficiale; esso prevede la distinzione in tre regimi termici (Fig. 12.17):

- trasmissione conduttiva del calore a opera della dolomia triassica compatta verso il calcare mesozoico sovrastante (a profondità di circa 6-7 km);
- trasmissione convettiva del calore per circolazione di fluidi nel nucleo fratturato dell'alto strutturale calcareo (a profondità di circa 1-3 km);
- trasmissione conduttiva di calore entro il flysch eocenico, le molasse mioceniche e la coltre quaternaria, tramite la quale vengono riscaldati gli acquiferi in essi contenuti.

Dall'analisi dei dati non si ritiene necessario ipotizzare la risalita dei fluidi caldi più profondi fino in superficie

in quanto sarebbero sufficienti i moti convettivi all'interno dei carbonati maggiormente permeabili dell'alto strutturale e la sola conduzione nelle formazioni sovrastanti a giustificare valori di temperatura di circa 50 °C nelle falde poste a 500-600 m di profondità dal piano campagna.

Si riporta (Fig. 12.17) lo schema di interpretazione del circuito termale che, allo stato attuale delle conoscenze, risulta più aderente ai dati disponibili tra quelli proposti.

12.2.5.2. Individuazione degli acquiferi termali

Il quadro stratigrafico complessivo del sottosuolo dell'area termale è schematizzato dai due profili geologici, tra loro trasversali, riportati nella Tav. 11.

Nell'area della risorsa geotermica, al di sopra del substrato roccioso terziario, sono presenti, tra 400 e 600-700 m di profondità, tre falde termali, convenzionalmente definite come 8, 9 e 10 nella serie idrogeologica quaternaria del portogruarese (§ 12.2.5.1 e Tab. 12.2).

I dati disponibili permettono di ricostruire con un certo dettaglio la geometria e l'idrodinamica degli acquiferi 8 e 9, mentre per l'acquifero 10 (che potrebbe corrispondere a più acquiferi) il numero dei dati, a causa della notevole profondità (oltre 600 m), permette una ricostruzione piuttosto approssimativa.

Le risorse termali si originano quindi in un circuito profondo in formazioni geologiche terziarie. Le acque termali si trovano (riscaldate per conduzione) anche nei sovrastanti terreni sciolti prevalentemente quaternari, spessi circa 600 m. Lo sfruttamento attuale riguarda

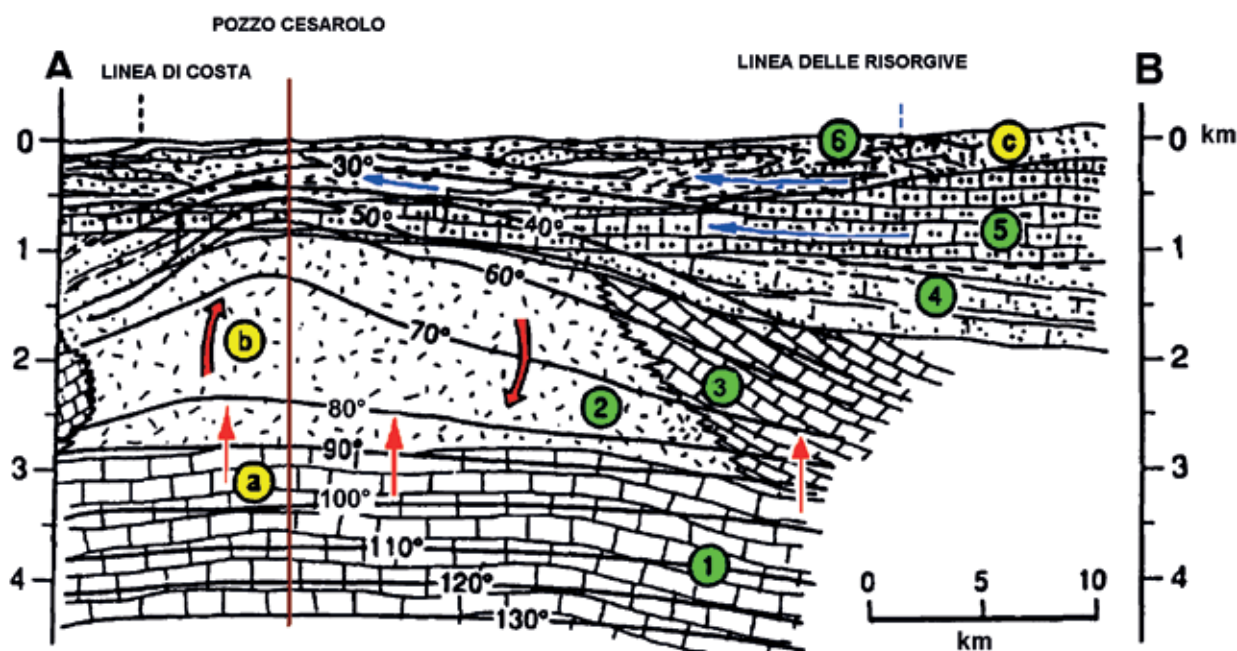


Fig. 12.17 - Schema del sottosuolo dell'area geotermica; Legenda: 1) dolomie e calcari dolomitici (Trias sup.-Lias); 2) Calcare biogenico di piattaforma (Dogger-Cretaceo sup.); 3) Scarpata e calcare di bacino (Dogger-Cretaceo sup.); 4) Flysch (Paleocene-Eocene); 5) Arenarie arcose (Miocene); 6) Depositi fluviali e marini (Quaternario); a) conduzione dominante; b) convezione dominante; c) circolazione superficiale.

esclusivamente questi acquiferi in materiali sciolti. Per questo motivo, le informazioni a oggi disponibili sono relative soprattutto ai primi 600 m di sottosuolo¹⁴.

Il sistema, di notevole complessità idrogeologica, è multifalda, dotato di ricarica nell'area a monte (provincia di Pordenone).

Le analisi isotopiche, chimico-fisiche e idrogeologiche indicano che il complesso sistema multifalda è alimentato da precipitazioni meteoriche attraverso un sistema di bacini situati a varie altitudini. Le acque degli acquiferi con profondità superiore a 400 m hanno tempi di residenza superiore a 40 anni. Secondo gli studi esistenti è ragionevole ipotizzare un tempo di residenza intorno a cento anni.

Le acque prelevate hanno una composizione chimico-fisica con valori di pH neutro (compresi tra 7,0 e 7,2), concentrazioni di sali disciolti tipici di acque dolci, assenza di impatto antropico sulla qualità e caratteristiche "quasi" potabili (secondo il D.Lgs. n° 31/2001), salvo i tipici "superamenti" di origine geologica.

12.2.5.3. Metodologia di valutazione delle potenzialità delle risorse geotermiche

Grazie a misure e rilievi protratti per molti anni è stato possibile definire la potenzialità delle falde geotermiche.

A tale scopo si sono elaborati i dati relativi a:

- spessore e geometria degli acquiferi;
- parametri idrogeologici (porosità, trasmissività e isopieze);
- distribuzione delle isoterme.

Ottenendo:

- il volume dei singoli acquiferi;
- il flusso idrico sotterraneo;

¹⁴ Per scopi geotermici, in futuro, potrà essere di interesse analizzare anche la situazione geologica, idrogeologica ed energetica del circuito termale nel substrato roccioso che attualmente non è interessato da prelievi. Nel Friuli Venezia Giulia è stato realizzato un primo pozzo esplorativo, nell'area di Grado, che ha recentemente raggiunto il substrato terziario.

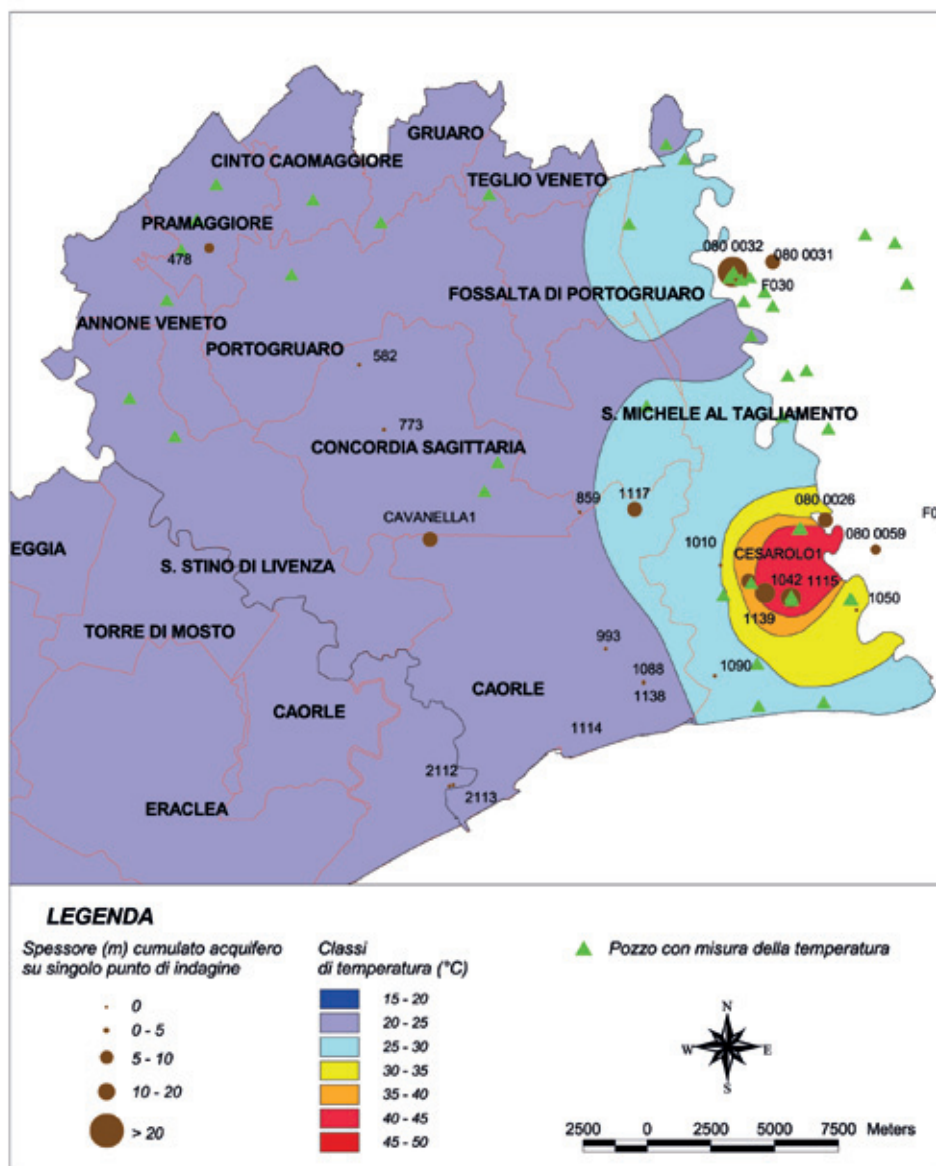


Fig. 12.18 - Spessore e isoterme della falda 8.

- la riserva idrica;
- il contenuto energetico.

Questi dati sono stati confrontati con gli usi attuali e le capacità di ricarica, al fine di valutare l'uso sostenibile della risorsa.

12.2.5.4. Volume degli acquiferi e contenuto energetico

Gli studi effettuati hanno permesso, per la prima volta, di ricostruire tridimensionalmente la geometria degli acquiferi e di calcolare in maniera sufficientemente precisa il volume dell'insieme delle falde (8-9-10) con temperatura maggiore di 25 °C, per la parte ricadente nel Veneto. Infatti, elaborando le stratigrafie dei pozzi, i dati geofisici in foro e altri dati geologici e geofisici, è stato possibile ricostruire la geometria nelle tre dimensioni degli acquiferi e calcolarne il volume. Grazie a numerose misure di temperatura sui pozzi esistenti è stato inoltre possibile ricostruire la distribuzione delle isoterme.

Nelle seguenti cartografie si riporta, per ciascun acquifero, l'ubicazione dei punti di indagine con l'indicazione dello spessore e l'andamento delle isoterme. Le isoterme sono riportate anche nella Tav. 11.

Falda 8

La falda (Fig. 12.18) non è presente nell'intero territorio ma prevalentemente in una fascia parallela al fiume Tagliamento. Raggiunge i massimi spessori nella parte di massima anomalia geotermica. Lo spessore medio è di 7,8 m.

La trasmissività della falda è quindi complessivamente bassa, ma va precisato che in sinistra Tagliamento (Friuli Venezia Giulia) la falda tende a ispessirsi e risulta particolarmente sfruttata.

Falda 9

Interessa (Fig. 12.19) il territorio con spessori generalmente superiori a 20 m; il valore medio, nelle stratigrafie attualmente disponibili, risulta pari a 25,2 m. Dato che il 40% delle stratigrafie non raggiunge la base dell'acquifero

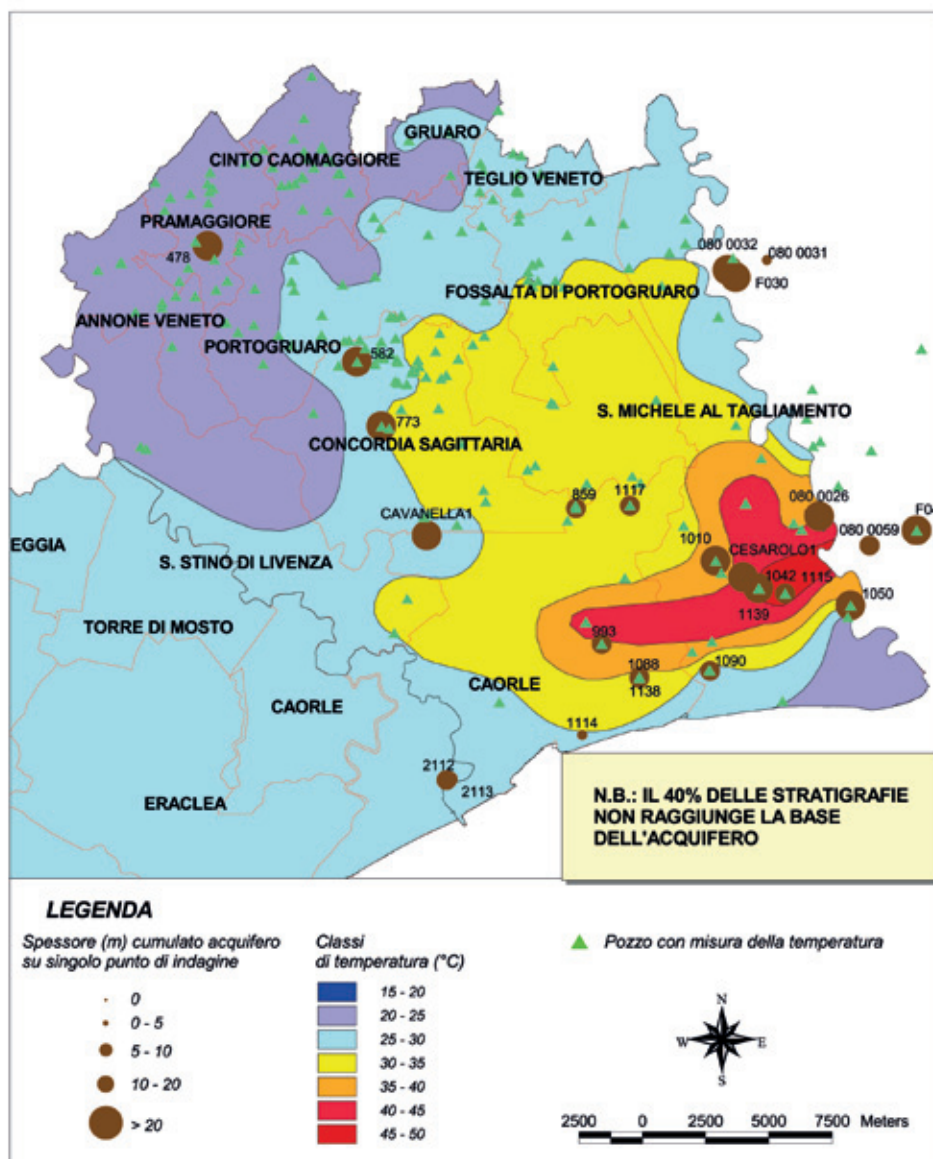


Fig. 12.19 - Spessore e isoterme della falda 9.

base dell'acquifero si tratta di una sottostima. Sulla base dei profili geologici si può ritenere lo spessore pari a circa 30 m. Nei calcoli successivi cautelativamente si è comunque considerato un valore di 26 m.

Falda 10

Data l'elevata profondità e il conseguente bassissimo numero di prospezioni che raggiungono tale "acquifero", non è possibile precisare né lo spessore, né se si tratta di una falda unica.

Va osservato che i dati chimico-fisici rilevati *in situ* segnalano per i pozzi a questa profondità una probabile intercettazione e/o interconnessione con i livelli del substrato oggetto di circolazione del circuito termale profondo.

Nei calcoli si è utilizzato prudenzialmente un valore di 15 m.

Dalle cartografie riportate, per ciascun acquifero è quindi possibile calcolare le aree delimitate dalla isoterme con equidistanza 5 °C.

La seguente Fig.12.20 riporta il valore delle aree contenute dalle singole isoterme per ciascun acquifero.

Si sono utilizzati intervalli di temperatura di 5 °C e si sono considerate termali le acque con temperatura superiore a 25 °C (caratterizzate quindi da gradiente geotermico anormale).

La Tab. 12.6 riporta il calcolo dei volumi nelle condizioni indicate ai paragrafi precedenti. Il volume dei

reservoir geotermici può essere calcolato con un certo dettaglio per le falde 8 e 9, mentre per la falda 10 i dati hanno valore preliminare. Per calcolare il volume effettivamente occupato dall'acqua è necessaria la conoscenza oltre che della geometria dell'acquifero anche della porosità efficace. E' nota la complessità di definire mediante *test in situ* il valore della porosità efficace in situazioni idrogeologiche come quella in esame. Il metodo più comunemente usato utilizza formule basate su prospezioni di tipo geofisico, quali i *logs* elettrici. Nell'area indagata tali metodi però non sono stati applicabili in quanto richiedono che il foro sia o non rivestito o rivestito con materiali non metallici.

Si è scelto quindi di impiegare, per tutte le falde, in analogia col precedente lavoro di ZANGHERI *et al.*, 2001, un valore di 0,12 che appare coerente con la situazione geologica generale dell'area.

I calcoli riportati in Tab. 12.5 indicano che il volume della porosità efficace dei *reservoir* geotermici, per la parte di bacino termale ricadente nel Veneto, è pari a 2,5 km³.

Per quanto riguarda le potenzialità termiche del sistema, precedenti studi hanno valutato l'energia intrinseca e variabile del sistema geotermico E_p come compresa tra:

$$40.000 < E_p < 50.000 \text{ Gwh.}$$

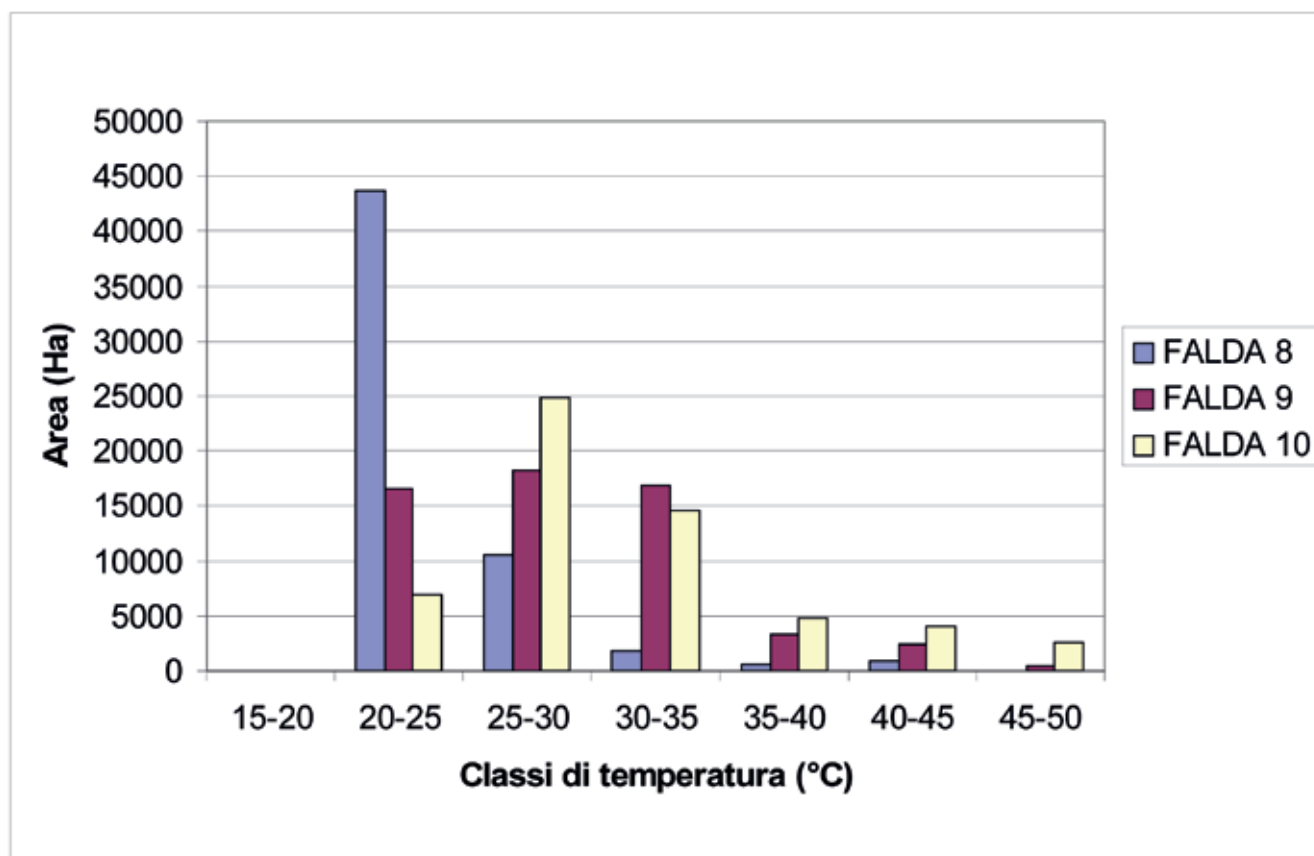


Fig. 12.20 - Area contenuta dalle isoterme con equidistanza 5 °C.

	FALDA 8	FALDA 9	FALDA 10
Classi (°C)	Area (ha)	Area (ha)	Area (ha)
15-20	0	0	0
20-25	43687	16640	6856
25-30	10611	18153	24839
30-35	1870	16901	14536
35-40	595	3245	4839
40-45	939	2349	4075
45-50	0	414	2557

FALDA 8	FALDA 9	FALDA 10	TOTALE
Volume (mc)	Volume (mc)	Volume (mc)	Volume (mc)
99.319.160	566.382.296	447.100.162	1.112.801.619
17.506.440	527.308.665	261.656.168	806.471.272
5.566.891	101.236.272	87.095.530	193.898.693
8.785.990	73.291.240	73.352.439	155.429.669
0	12.916.501	46.027.071	58.943.572

Tab. 12.5 - Volume degli acquiferi termali nel Veneto.

TOTALE	131.178.481	1.281.134.973	915.231.370	2.327.544.825
--------	-------------	---------------	-------------	----------------------

12.2.5.5. Tempi teorici di svuotamento ("depletion")

E' possibile effettuare un calcolo del tempo che teoricamente occorrerebbe per "svuotare" ciascun acquifero nella ipotesi che la portata emunta si mantenga al livello attuale e che l'entità della ricarica sia nulla¹⁵.

I dati necessari per questa verifica sono:

- il volume degli acquiferi termali (valore della "riserva");
- la portata attualmente emunta.

In queste ipotesi risulta (Tab. 12.6) che, con gli attuali prelievi, anche in assenza di ricarica necessitano tempi lunghissimi per "svuotare" completamente l'acquifero. Ad esempio, considerando il volume complessivo degli acquiferi (circa 2,5 km³ nell'area della anomalia geotermica) e una portata di prelievo di 250 l/s, lo svuotamento (in assenza di ricarica) avverrebbe in circa 300 anni.

Si ricorda però che sia le analisi isotopiche che la ricostruzione della struttura geologica dell'acquifero indicano che il sistema idrogeologico è dotato di una sua ricarica e che quindi l'acqua che viene estratta può essere rimpiazzata, da acqua proveniente da monte, fino al limite dato dall'entità della ricarica.

In sintesi dall'analisi delle tabelle risulta che la riserva d'acqua del portogruarese è quantitativamente importante e può essere stimata tra i 7 e i 12 miliardi di m³ (ovvero tra i 7 e 12 km³).

Si tratta di una riserva idrica quantitativamente notevole.

A titolo di confronto si nota che la zona di alimentazione a monte (alta pianura in provincia di Pordenone) riceve una alimentazione di circa 40 m³/s¹⁶. Se tutta

quest'acqua andasse alimentare gli acquiferi confinati del portogruarese¹⁷, risulta che per riempire il loro volume occorrerebbero tra i 6 e i 9 anni di tempo.

Considerando invece la portata che alcuni studi (MOSETTI, 1983) ritengono alimenti le falde in pressione in oggetto¹⁸, stimata in 6 m³/s, in assenza di qualsiasi prelievo il tempo necessario a colmare (e, viceversa, a svuotare con analoga portata) la porosità sale a 38-63 anni. Di conseguenza, considerando che il sistema idrogeologico comprende anche una consistente parte nell'area a monte non compresa nello studio realizzato, è possibile stimare la durata di rinnovamento¹⁹ attorno ai 100 anni²⁰.

¹⁵ Ipotesi, quest'ultima, ampiamente cautelativa. Si ricorda inoltre che non è praticamente possibile attuare il totale "svuotamento" di un acquifero.

¹⁶ Il dato è noto solo approssimativamente (cfr. MOSETTI, 1983).

¹⁷ Ovvero senza prelievi, senza risorgive e senza alcun altro elemento di drenaggio naturale, e inoltre senza considerare i volumi acquiferi in continuità con quelli in parola ricadenti in provincia di Pordenone.

¹⁸ Compresa quindi la parte a nord ricadente in provincia di Pordenone.

¹⁹ Si definisce durata di rinnovamento la durata teorica necessaria affinché il volume cumulato dell'alimentazione dell'acquifero sia eguale alla sua riserva.

²⁰ Si osserva che questo dato risulta coerente con le nuove indagini isotopiche eseguite nell'ambito dello studio effettuato.

Falda	Prelievo totale max. (m ³ /anno)	Prelievo totale min. (m ³ /anno)	Volume risorsa termale (m ³)	Tempo "svuotamento" max. (anni)	Tempo "svuotamento" min. (anni)
8	8,7E+05	1,5E+06	1,3E+08	151	90
9	2,5E+06	4,1E+06	1,4E+09	562	337
10	4,5E+05	7,6E+05	9,2E+08	2015	1209

Tab. 12.6 - Tempi teorici di "svuotamento" degli acquiferi termali nel Veneto.

Il tema del razionale utilizzo della risorsa va quindi affrontato non tanto per un rischio di mancanza di disponibilità di acqua sotterranea, ma relativamente agli effetti della depressurizzazione dell'acquifero e del mantenimento della qualità delle acque sotterranee.

Infatti con le portate attuali non si evidenzia un immediato problema di disponibilità idrica, ma un rischio di depressurizzazione degli acquiferi a cui concorre non solo il prelievo dagli acquiferi nell'area termale, ma anche quello nell'area a monte.

Di conseguenza la sostenibilità del prelievo va valutata principalmente sulla base del valore di depressurizzazione accettabile.

12.2.5.6. Evoluzione del sistema: prevalenza e temperatura

Essendo state svolte due campagne di misura (1997 e 2004)²¹ sull'area termale, è possibile svolgere una prima valutazione dell'evoluzione del sistema in relazione a due fondamentali parametri: prevalenza e temperatura.

I dati relativi ai rilevamenti e monitoraggi idrogeologici svolti, rispetto alle campagne effettuate nel 1997-2001 e 2004, mostrano una riduzione della prevalenza, quantificata mediamente in ben 70 cm/anno, mentre le temperature si mantengono su valori pressoché costanti.

Il calo della piezometria è in relazione all'emungimento contemporaneo di tutti i pozzi negli ultimi vent'anni circa. Tali diminuzioni, pur in presenza di risorse indubbiamente considerevoli, evidenziano una significativa dispersione della risorsa, visto il notevole numero di utilizzazioni a erogazione continua e quindi "a perdere". E' da notare che il sistema sta localmente perdendo le caratteristiche di erogazione spontanea.

Non si hanno invece differenze apprezzabili nei valori di temperatura.

Il confronto tra le due campagne per temperatura e piezometria è riportato graficamente nella Fig. 12.21 e nella Fig. 12.22.

In generale si nota un calo della piezometria delle falde per cui si ha anche un conseguente calo delle portate spontanee erogabili. Essendo la maggior parte dei pozzi privi di pompa, ciò comporta a parità di numero di pozzi una diminuzione anche delle portate prelevate. Per quanto riguarda i fattori antropici, va notato che un ulteriore aumento dei prelievi nella sovrastante pianura pordenonese comporterà necessariamente un calo delle portate in ingresso nelle falde del territorio provinciale.

²¹ La prima (1997) a cura della Provincia nell'ambito della "Indagine idrogeologica del territorio provinciale" e proseguita (2001) con le indagini del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento assieme alla Provincia di Venezia col progetto "Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese"; la seconda (2004) con gli studi realizzati dal Consorzio di Bonifica citato con finanziamento della Regione Veneto.

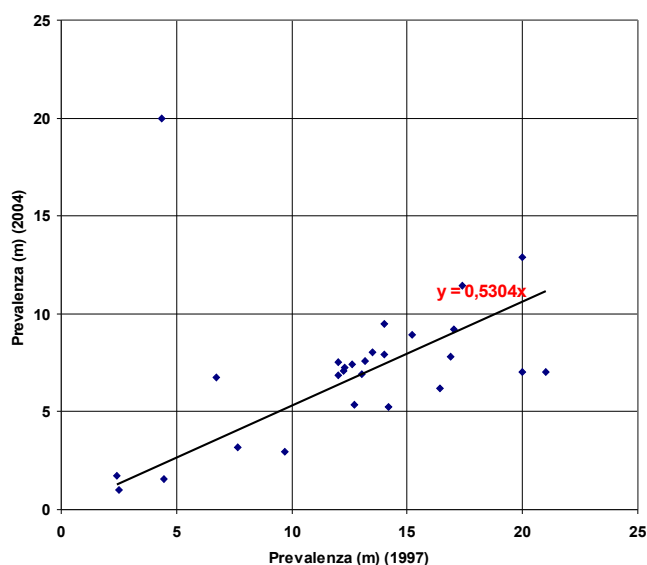


Fig. 12.21 - Confronto dei valori di prevalenza misurati nelle campagne del 1997 e del 2004.

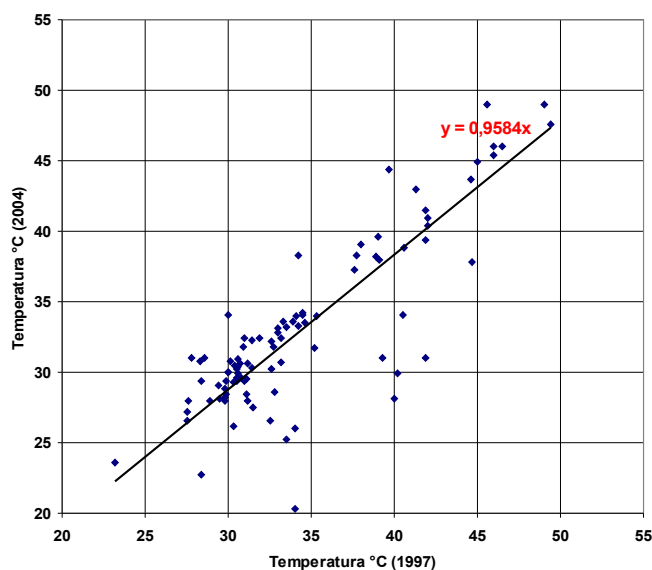


Fig. 12.22 - Confronto dei valori di temperatura misurati nelle campagne del 1997 e del 2004.

12.3. GLI ACQUIFERI SUPERFICIALI

12.3.1. Gli acquiferi superficiali e le indagini in corso

Mediante lo studio delle unità geologiche della provincia (capitolo 8), si è acquisito un quadro complessivo della situazione geologica delle prime decine di metri di sottosuolo.

Ciò permette di affrontare il tema anche della ricostruzione idrogeologica del primo sottosuolo. A tale scopo la Provincia ha individuato uno specifico progetto (il progetto IDRO) che è attualmente (2011) al terzo anno di svolgimento.

Lo studio in corso si basa sulla metodologia messa a punto nell'ambito di un progetto dedicato alla idrogeologia dell'area di Porto Marghera, i cui risultati saranno oggetto dei prossimi paragrafi e specificati nell'apposita scheda.

In altra scheda viene poi trattato il "Progetto IDRO".

12.3.2. L'area campione di Porto Marghera - Definizione di una metodologia di studio per gli acquiferi superficiali di bassa pianura

Lo studio realizzato sull'area campione di Porto Marghera (di cui alla scheda nella pagina seguente) può essere schematicamente suddiviso in due fasi:

- ricostruzione del modello geologico di riferimento;
- ricostruzione del modello idrogeologico di riferimento.

12.3.2.1. Il modello geologico di riferimento

Ai fini della definizione del modello idrogeologico il piano di lavoro ha previsto:

- aggiornamento struttura e implementazione banca dati geologico-stratigrafica;
- elaborazioni propedeutiche (elaborazione del microrilievo e della distribuzione e spessore di livelli litologici significativi);
- distribuzione delle sabbie su spessori di 2 m (metodo per l'individuazione delle direttrici di sedimentazione);
- profili geologici serati in relazione ai più probabili trend deposizionali (10 paralleli e 10 perpendicolari);
- zonazione in unità idrostratigrafiche;
- profili rappresentativi delle sequenze idrostratigrafiche (sequenze tipo);
- ricostruzione delle isobate del primo acquifero significativo;
- distribuzione dei livelli permeabili-impermeabili-caranto²²;
- datazioni e caratterizzazione dei sedimenti;
- elaborazione tridimensionale dei profili geologici mediante strumenti GIS e CAD;
- ricostruzione dei principali corpi sabbiosi e dei loro collegamenti con le aree a monte;
- rappresentazione cartografica e tridimensionale di sintesi;
- inserimento/confronto contestualizzazione nel qua-

dro geologico a scala provinciale (carta delle Unità Geologiche - Tav. 10).

Alla base delle elaborazioni vi è la già citata Banca Dati stratigrafica della Provincia di Venezia²³. I dati stratigrafici utilizzati coprono gran parte dell'area del SIN²⁴ di Venezia Porto Marghera. Infatti i dati utilizzati per le elaborazioni suddette ammontano a circa 2300 stratigrafie per la sola area di Porto Marghera (cfr. Tav. 7, dove in un apposito ingrandimento si riportano le loro ubicazioni).

Le indagini e gli studi condotti hanno consentito di produrre numerosi elaborati stratigrafici relativi al riporto, all'andamento del caranto (laddove presente), alla ricostruzione della successione temporale dei corpi sabbiosi significativi che, nel complesso, hanno condotto alla realizzazione di venti profili stratigrafici e alla redazione della Carta delle sequenze idrostratigrafiche tipo. Tale elaborato suddivide l'area in ambiti stratigrafici omogenei in relazione alla loro possibilità di ospitare o meno un mezzo poroso e permeabile sede di acquifero. Si riconoscono infatti settori dove non sono stati individuati spessori significativi di materiale permeabile e altri dove si trovano corpi acquiferi/sabbiosi molto potenti. La Carta inoltre, distingue i diversi ambiti anche in funzione dell'approfondimento dei suddetti corpi.

L'insieme di queste elaborazioni ha permesso alla fine di definire il modello geologico di riferimento dell'area di Porto Marghera, base per tutte le successive elaborazioni idrogeologiche. Il modello geologico è schematicamente rappresentato nella Fig. 12.23 e tridimensionalmente nella Fig. 12.27.

Il modello concettuale si può schematizzare, procedendo da nord a sud, in questo modo:

- due corpi sabbiosi superficiali interconnessi, con uno spessore che arriva anche a 20 m, ubicati nella zona a nord (area di viale San Marco e Isola Portuale);
- due corpi sabbiosi profondi nella zona più a sud tra loro interconnessi (zona Fusina e Naviglio Brenta);
- una zona interessata dalla presenza di due acquiferi separati nell'area del Nuovo Petrolchimico e, limitatamente, nell'estremità orientale della penisola di Fusina;
- una fascia centrale allungata in senso E-O che separa i corpi sabbiosi settentrionali da quelli meridionali, costituita prevalentemente da materiale fine pressoché impermeabile (*acquiclude/aquitardi*).

²² Il "caranto" è trattato in un'apposita scheda nel capitolo 8 "Geologia" e nel capitolo 6 "Suoli".

²³ Vedi anche il capitolo 5 "Banche dati" e la Tav. 7.

²⁴ SIN: "Sito d'Interesse Nazionale". La vigente normativa in tema di bonifica dei siti contaminati (art. 252 del D.Lgs. n° 152/2006) prevede che i siti contaminati di maggiore rilevanza per estensione ed entità della contaminazione siano dichiarati di "interesse nazionale". Il sito industriale di "Venezia-Porto Marghera" è compreso nell'elenco dei siti di interesse nazionale individuati dalla Legge 426/98 e ne è stata definita la perimetrazione col Decreto del Ministero dell'Ambiente del 23 febbraio 2000.

IL PROGETTO “INDAGINE IDROGEOLOGICA SULL’AREA DI PORTO MARGHERA”

Con la DGRV n° 4879 del 28 dicembre 1999 è stato avviato lo studio idrogeologico sull’area di Porto Marghera. Tale delibera prevedeva che l’indagine fosse svolta in due fasi e che la prima fase contemplasse la stesura di un dettagliato piano di lavoro per lo svolgimento della seconda fase. Con le Delibere n° 4225/2004, n° 3359/2005 e n° 3615/2005 la Regione Veneto - Direzione Progetto Venezia ha attivato il completamento dello studio incaricando la Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo di coordinare la seconda fase dell’indagine idrogeologica.

L’avvio della seconda fase è avvenuto in un momento particolarmente favorevole in quanto ha potuto acquisire una notevole mole di dati e informazioni di carattere stratigrafico provenienti dalle indagini di caratterizzazione ambientale che nel frattempo erano state realizzate dai titolari delle aree interessate.

L’elaborazione delle numerose stratigrafie ha permesso di costruire il modello geologico del sottosuolo che è risultato essere incongruente con il modello concettuale riportato nel *Master Plan* vigente²⁵.

Tali incoerenze si sono manifestate già durante la terebrazione dei sondaggi ambientali delle caratterizzazioni quando, in molte circostanze, è stata appurata la non corrispondenza della stratigrafia effettiva con il modello concettuale vigente.

Ciò ha inevitabilmente sollevato delle difficoltà operative in quanto l’unico riferimento tecnico-procedurale a oggi vigente, ossia il modello concettuale stratigrafico del *Master Plan*, non è, in molti casi, applicabile ai casi reali, lasciando così aperta una situazione di incertezza sulle soluzioni tecniche da applicare ai fini del risanamento ambientale dei siti contaminati.

Lo studio idrogeologico ha pertanto affinato e, in molti

casi, ridefinito il modello stratigrafico esistente approssimandolo maggiormente alla situazione geologica effettiva e garantendo ai soggetti che operano nell’area uno strumento di orientamento maggiormente affidabile. Esso ha inoltre individuato i principali acquiferi e definito l’assetto idrogeologico locale, parametrizzando gli acquiferi e valutando i flussi idrici sotterranei.

Con lo studio si è quindi ottenuto il quadro geologico e idrogeologico di riferimento necessario sia per gli operatori che intervengono su aree parziali sia per gli enti che devono programmare le attività di area a scala complessiva.

Elemento importante e innovativo è stata la presenza di un “Tavolo tecnico” di monitoraggio delle attività di ricerca aperto a tutti gli enti e alle strutture interessate; esso ha coinvolto ARPAV, Autorità Portuale di Venezia, Comune di Venezia, Consorzio Venezia Nuova, I.C.R.A.M., Magistrato alle Acque di Venezia, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo, Regione Veneto - Direzione Progetto Venezia e Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Geografia, permettendo così la condivisione della metodologia di lavoro.

Lo studio completo con il nome degli autori è disponibile sul sito *internet* della Regione Veneto²⁶.

Rielaborazione dalla presentazione sul sito della Regione Veneto a cura di Pietro Zangheri

²⁵ Il “*Master Plan*” è spiegato in nota al § 12.3.2.1.

²⁶ <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Venezia+e+Porto+Marghera/Bonifiche+e+risanamento+ambientale/Indagineldidrogeologia.htm>

Tutte le elaborazioni di carattere idrogeologico si sono basate su questa ricostruzione e si inseriscono negli studi svolti in collaborazione con il Dipartimento di Geografia dell’Università di Padova sull’evoluzione sedimentaria dei principali corpi alluvionali, e in particolar modo del megaconoide (megafan) del Brenta. Tali elementi hanno permesso di costruire il modello concettuale stratigrafico dell’area del SIN, svincolandosi da una riduttiva elaborazione statistica dei dati (presente in precedenti elaborati pianificatori), ma servendosi di un modello evolutivo riconosciuto e condiviso.

In sintesi, l’indagine sulla base di profili geologici individua e rappresenta quattro strutture (o sistemi) morfo-sedimentarie principali a granulometria grossolana (oltre al sistema a doppia falda presente unicamente nella Penisola della Chimica, già noto dal *Master Plan*²⁷). Questi sistemi sono caratterizzati da almeno una successione continua di sabbie e sabbie limose di spessore maggiore a 6 m.

La sedimentazione è relativamente grossolana con granulometrie che variano dai limi sabbiosi alla sab-

bia media-grossolana con una netta prevalenza delle sabbie fini e medio fini più o meno limose.

I quattro sistemi sono stratigraficamente sottostanti al

²⁷ Con D.P.C.M. del 15.11.2001 è stato approvato l’Atto Integrativo dell’Accordo di Programma per la Chimica di Porto Marghera; all’interno di tale Atto si prevede l’elaborazione e l’approvazione di un apposito “*Master Plan*” che, nel rispetto della normativa vigente e delle finalità dell’Accordo sulla Chimica di Porto Marghera, individui e cadenzii gli interventi nonché le priorità e i tempi delle iniziative da assumere nel sito; in tal modo verrebbero pianificate le ulteriori necessarie investigazioni di dettaglio e i progetti di recupero produttivo, occupazionale, di tutela ambientale e sanitaria e definire in un contesto unitario le scelte strategiche di intervento. Il *Master Plan*, redatto da un gruppo di lavoro coordinato dalla Regione Veneto, è stato approvato con Deliberazione della Conferenza di Servizi dell’accordo per la chimica n° 1 del 22.04.2004, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Veneto n° 73 in data 23.07.2004.

Il *Master Plan* è integralmente scaricabile dal sito *internet* della Regione Veneto: <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Venezia+e+Porto+Marghera/Bonifiche+e+risanamento+ambientale/masterpl.htm>.

IL PROGETTO “IDRO” STUDIO IDROGEOLOGICO DEGLI ACQUIFERI SUPERFICIALI E INTERFERENZA CON GLI INTERVENTI ANTROPICI NEL SOTTOSUOLO

Paolo Fabbri²⁸, Pietro Zangheri²⁹

Gli acquiferi superficiali sono di notevole interesse in rapporto ai compiti istituzionali della Provincia. Sono infatti gli acquiferi presenti nel primo sottosuolo che interferiscono maggiormente con le attività umane (agricole, opere nel sottosuolo, reti di drenaggio e tecnologiche ...).

Questa consapevolezza ha spinto la Provincia a effettuare uno specifico approfondimento su questo tema tramite il progetto “IDRO”. Nasce alla fine del 2008 come progetto pluriennale e coinvolge l'Università di Padova (Dipartimento di Geoscienze e Dipartimento di Geografia con i quali sono state sottoscritte due apposite convenzioni). I responsabili scientifici sono Pietro Zangheri (per la Provincia) e Paolo Fabbri (per l'Università di Padova) e vi partecipa un gruppo di tecnici in parte afferenti direttamente al Servizio Geologico provinciale (responsabile Valentina Bassan) e in parte con borse di studio presso i citati Dipartimenti.

La prima parte del progetto, in assenza, nella letteratura idrogeologica, di una metodologia direttamente applicabile al particolare territorio di bassa pianura, si è focalizzata sulla messa a punto di una specifica metodologia e sulla sua applicazione in “aree campione”.

Il metodo si basa sulla esperienza acquisita nella “Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera” (si veda la spe-

cifica scheda); un lavoro di grande dettaglio che, a partire dalla sistematizzazione di un elevatissimo numero di dati, ha permesso di ricostruire il quadro geologico e idrogeologico del sito.

Il metodo prevede l'individuazione dei principali corpi acquiferi di interesse a scala provinciale, mediante una ricostruzione tridimensionale del sottosuolo, che parte da quanto realizzato nell'ambito delle unità geologiche e va a delimitare, mediante specifici approfondimenti, le porzioni di sottosuolo interessate da acquiferi.

Una volta delimitati gli acquiferi ne viene fatta la caratterizzazione idrogeologica in termini di parametri idrogeologici (trasmissività, permeabilità ecc.), di modalità di deflusso (campo di moto) e interrelazione con altri corpi idrici (rete scolante, lagune, corsi d'acqua ...).

I risultati di questo studio saranno oggetto di una pubblicazione da parte della Provincia, finalizzata alla divulgazione e valorizzazione dei dati e che sarà consultabile anche nel suo sito *web*.

²⁸ Università di Padova, Dipartimento Georisorse.

²⁹ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it.

“caranto” (laddove presente) e da esso idrogeologicamente confinati. Sono costituiti dalla sovrapposizione in aree più o meno ristrette di diversi corpi sabbiosi, legati alla dinamica pleistocenica, talora intercalati da strati a sedimentazione limosa argillosa ed eventuale presenza di torbe. I corpi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine e possono chiudersi piuttosto nettamente o mantenere una continuità laterale ma spessori più modesti.

I corpi sabbiosi sono schematizzati nella Fig. 12.23.

Procedendo da sud verso nord si incontrano:

- **corpo sabbioso di Fusina:** situato proprio in corrispondenza del Naviglio Brenta, è un corpo piuttosto tabulare con spessori massimi compresi fra -2 e -13 m s.l.m. e larghezza incerta poiché il limite sud risulta non definito;
- **corpo sabbioso di Malcontenta:** posizionato nel sottosuolo della darsena sud dell'area industriale di Porto Marghera, è una successione di corpi sabbiosi sovrapposti di larghezza totale attorno a 800 m, con una parte profonda compresa circa fra -10 e almeno -30 m s.l.m., collegata a una parte più superficiale e spostata di qualche centinaio di metri verso nord, di spessore analogo e tetto a circa -3 m s.l.m. Spostandosi verso est, esso tende a dividersi in due distinti corpi sabbiosi separati da un livello di sedimenti fini analogamente a quanto riscontrato anche nella penisola della chimica;
- **sistema doppio acquifero confinato:** direttamen-

te interconnesso con il corpo sabbioso di Malcontenta, è costituito da due corpi sabbiosi sovrapposti tra loro separati da un livello a bassa permeabilità; caratterizza la Penisola della Chimica e, erroneamente, in documenti pregressi era considerato lo schema idrogeologico tipico dell'intera area di Porto Marghera;

- **corpo sabbioso dell'area portuale:** situato in corrispondenza dell'area ferroviaria del porto commerciale, è un corpo sabbioso largo circa 400 m e di spessore compreso fra -3 e -18 m s.l.m.; sembra impostato sulla direttrice che da Salzano attraversa Spinea e Chirignago fino al centro di Marghera;
- **corpo sabbioso di viale San Marco:** situato in corrispondenza dell'area sud-orientale di Mestre attraversata da via Forte Marghera e viale San Marco, questo corpo sabbioso tabulare è di larghezza imprecisata, ma sicuramente superiore a 1200 m e spessore attorno a 8/9 m; è sub-superficiale (con quote del tetto comprese fra +1 e 0 s.l.m.) e verso l'area dell'Osellino a nord presenta un approfondimento con le quote del letto attorno a 12/13 m s.l.m. E' impostato sulla direttrice che da Noale e Maerne si dirige verso il centro di Mestre in corrispondenza del fiume Marzenego, caratterizzata dalla presenza di potenti strati di sabbia il cui tetto si trova a una profondità variabile tra -2 e -4 m dal p.c., con letto fino a -18 m e spessori massimi delle sabbie di circa 16 m; la caratteristica che spesso accomuna la descrizione di queste sabbie, e che ha permesso di

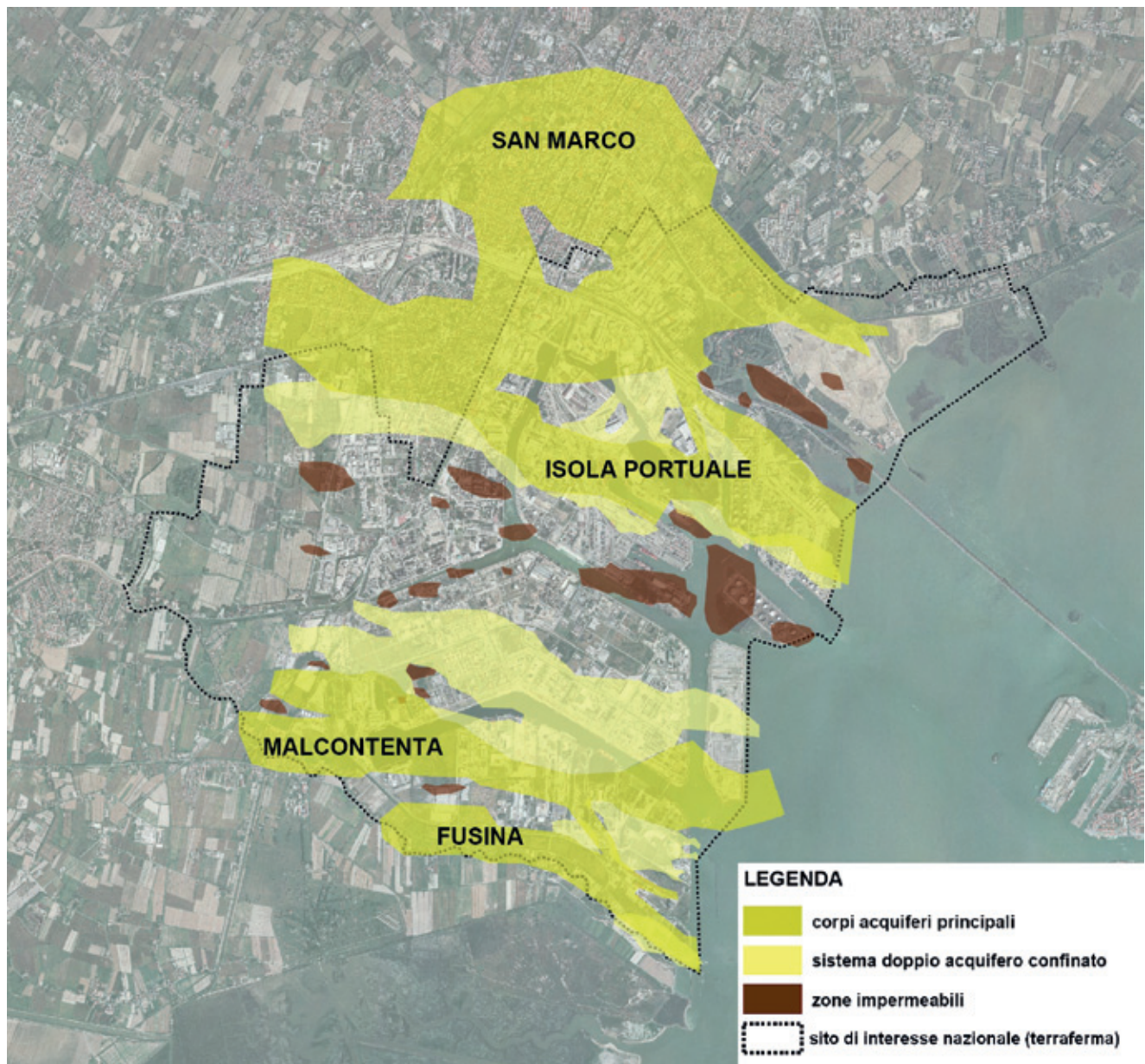


Fig. 12.23 - Principali corpi sabbiosi pleistocenici al di sotto del caranto individuati nel SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

associarle tra loro, è la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza, riscontrabile da Noale fino al centro di Mestre.

Lo studio dell'area a monte ha permesso di identificare, seppur con minor dettaglio, i collegamenti dei corpi acquiferi individuati nell'area di Marghera con le aree a monte. I principali collegamenti che individuano le direttrici sedimentarie del Brenta pleistocenico sono schematizzate nella Fig. 12.24.

I corpi sabbiosi hanno il tetto che si localizza a diverse profondità rispetto al piano campagna, indicando una presumibile epoca di attività diversa. I corpi presenti nella parte più a sud risultano più profondi, mentre quelli più a nord hanno il tetto più prossimo alla superficie. In particolare il corpo di viale San Marco in Mestre risulta subaffiorante e l'acquifero da confinato diviene semi-confinato o a falda libera.

Questo andamento è ben individuabile nella carta del "Tetto del primo acquifero significativo nel SIN di Porto Marghera" (Fig. 12.25) dove è evidente come, spostandosi progressivamente verso nord, i corpi sabbiosi tendano a divenire più superficiali (e, come evidenziabile dai profili geologici, anche più potenti), mentre nella parte centrale il tetto del primo acquifero è profondo.

Questo andamento corrisponde anche a quello della quota e dello spessore del "caranto" (Fig. 12.26) che, sempre spostandosi verso nord, tende a salire di quote e a diminuire in potenza. Si ricorda che il "caranto"³⁰ è un paleosuolo con caratteristiche analoghe ai suoli della bassa pianura pleistocenica del Brenta. Esso

³⁰ Si ricorda ancora che il "caranto" è trattato in un'apposita scheda nel capitolo "Geologia"; se n'è anche scritto nel capitolo 6 "Suoli".

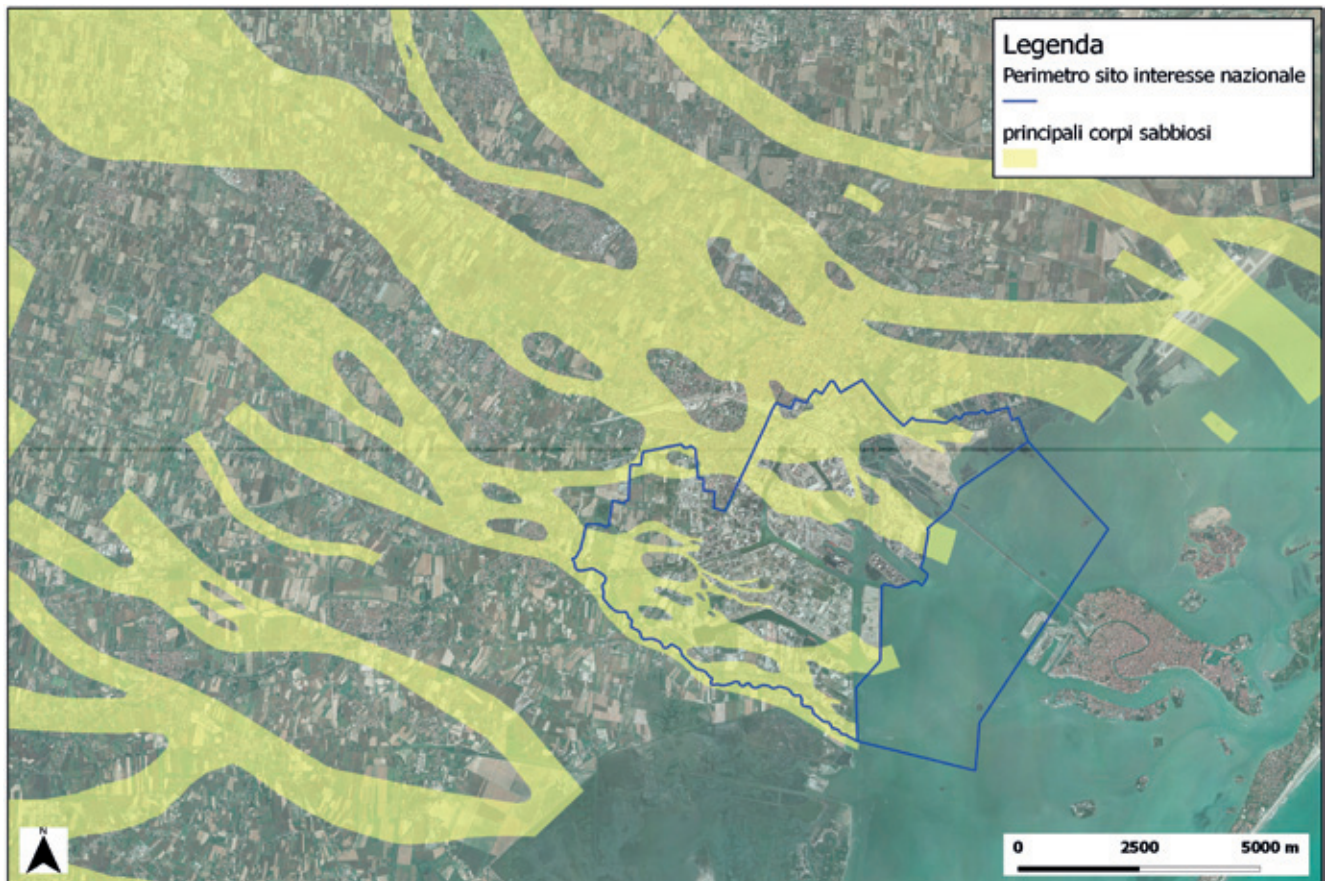


Fig. 12.24 - Principali corpi sabbiosi individuati nel SIN di Porto Marghera e loro collegamento con le aree a monte (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

rappresenta un livello stratigrafico guida, nonostante sia in parte discontinuo, e il limite tra le alluvioni del Brenta pleistocenico e quelle del Brenta olocenico. Generalmente si presenta come uno strato di spessore variabile mediamente tra 1 e 2 m, costituito da limo argilloso o argilla sovraconsolidati a causa della lunga pedogenesi, con colorazioni screziate dall'ocra al grigio, contenente comuni noduli carbonatici duri, con diametro da pochi mm ad alcuni cm.

12.3.2.2. Il modello idrogeologico di riferimento

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico del SIN di Porto Marghera (Fig. 12.27), l'obiettivo dello studio è stato quello di definire e parametrizzare le strutture idrogeologiche individuate nelle tre dimensioni estendendo l'analisi anche alle aree di potenziale interazione. In questo modo è stato possibile definire la geometria degli acquiferi, caratterizzare ogni acquifero significativo sulla base dei principali parametri (permeabilità, trasmissività ecc.), gestire le informazioni provenienti dalle campagne di monitoraggio piezometrico, valutare il livello medio della falda, le sue principali influenze e i flussi. Infine, è stata valutata, in funzione dell'andamento della conducibilità elettrica delle acque lungo la verticale, l'intrusione del cuneo salino³¹.

Lo schema di questa parte del lavoro ha previsto:

- aggiornamento della banca dati idrogeologica;
- ricostruzione della geometria degli acquiferi;

- parametrizzazione degli acquiferi (conducibilità idraulica - k , spessore - H , trasmissività - T), mediante *test* idrogeologici in sito;
- definizione dei fattori influenzanti i flussi idrici e le piezometrie (canali lagunari e, in terraferma, idrovore, emungimenti e diaframmi per la messa in sicurezza);
- definizione del regime piezometrico mediante monitoraggi in continuo;
- distribuzione delle piezometrie e dei gradienti;
- distribuzione di altri parametri (cuneo salino);
- valutazione dei flussi idrici sotterranei;
- quadro idrogeologico di sintesi.

Uno dei principali obiettivi del progetto è stata la *parametrizzazione degli acquiferi*. A tale fine mediante *test* in sito (principalmente *slug test*³², per la possibilità di eseguire numerose prove in tempi relativamente brevi) è stata misurata la permeabilità dei principali corpi acquiferi. L'ubicazione delle prove è riportata nella Tav. 11, mentre una rappresentazione di sintesi dei

³¹ Vedi anche il capitolo 17 "Intrusione salina".

³² Lo *slug test* è un metodo rapido per la misura, *in situ*, della permeabilità di un acquifero. Il metodo prevede di far variare repentinamente il livello piezometrico attraverso l'immissione di un solido di volume noto (lo "*slug*"). La misura dell'andamento del livello nel tempo fino al riequilibrio permette, tramite apposite formule, di calcolare la permeabilità.

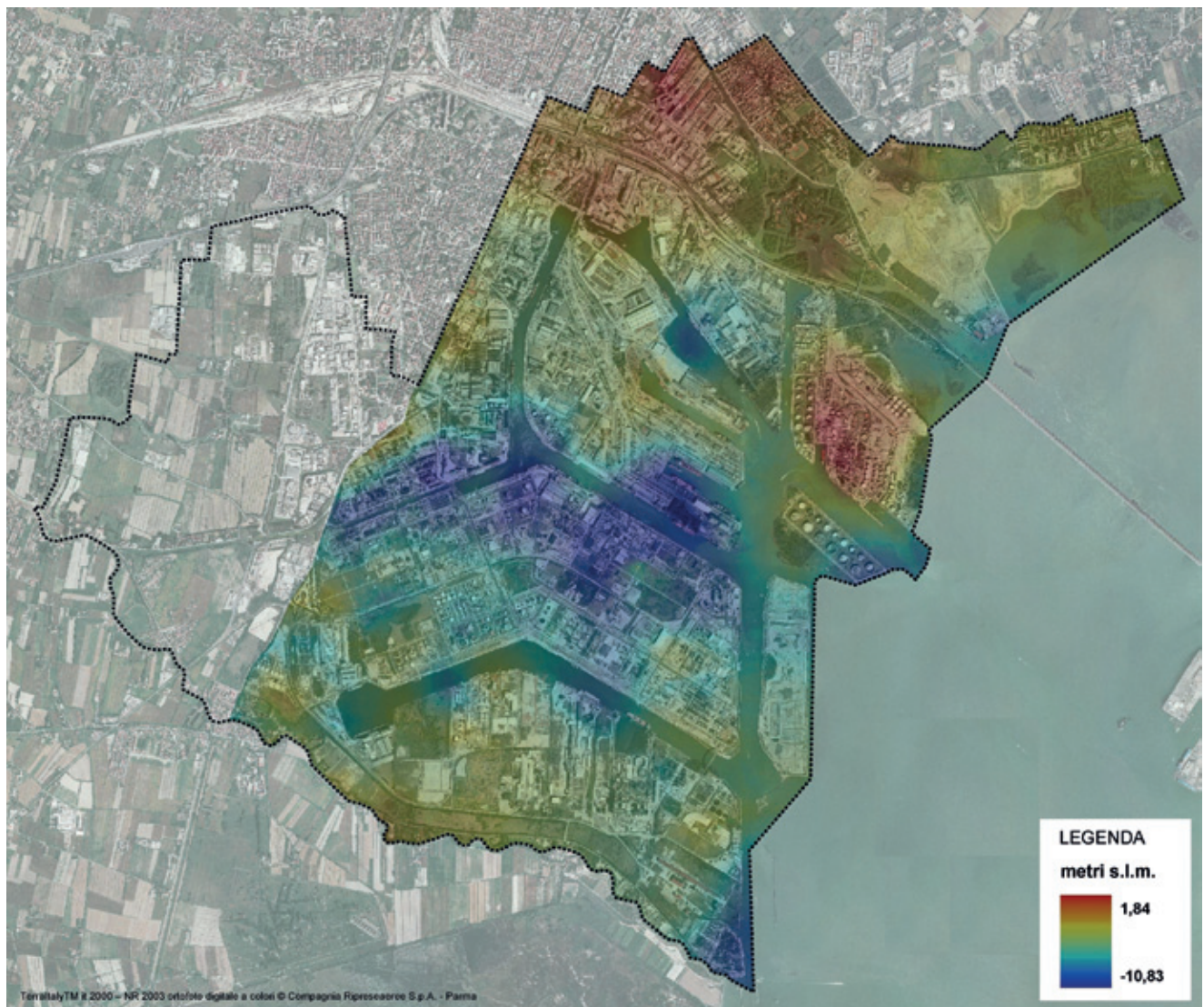


Fig. 12.25 - Tetto del primo acquifero significativo nel SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA 2009; aggiornato).

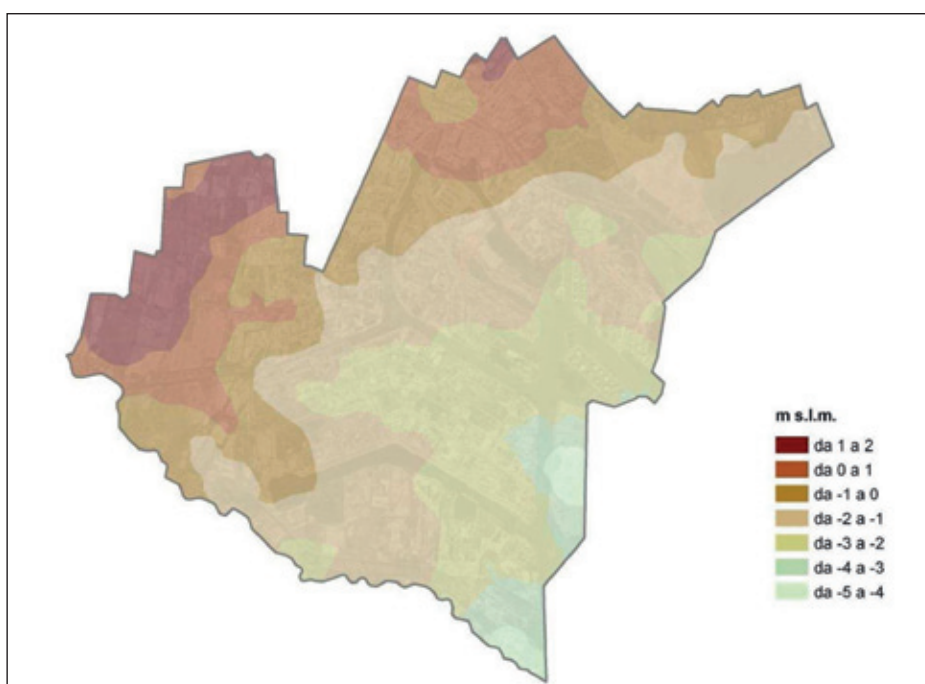


Fig. 12.26 - Cartografia della quota del caranto nel SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009; aggiornato).

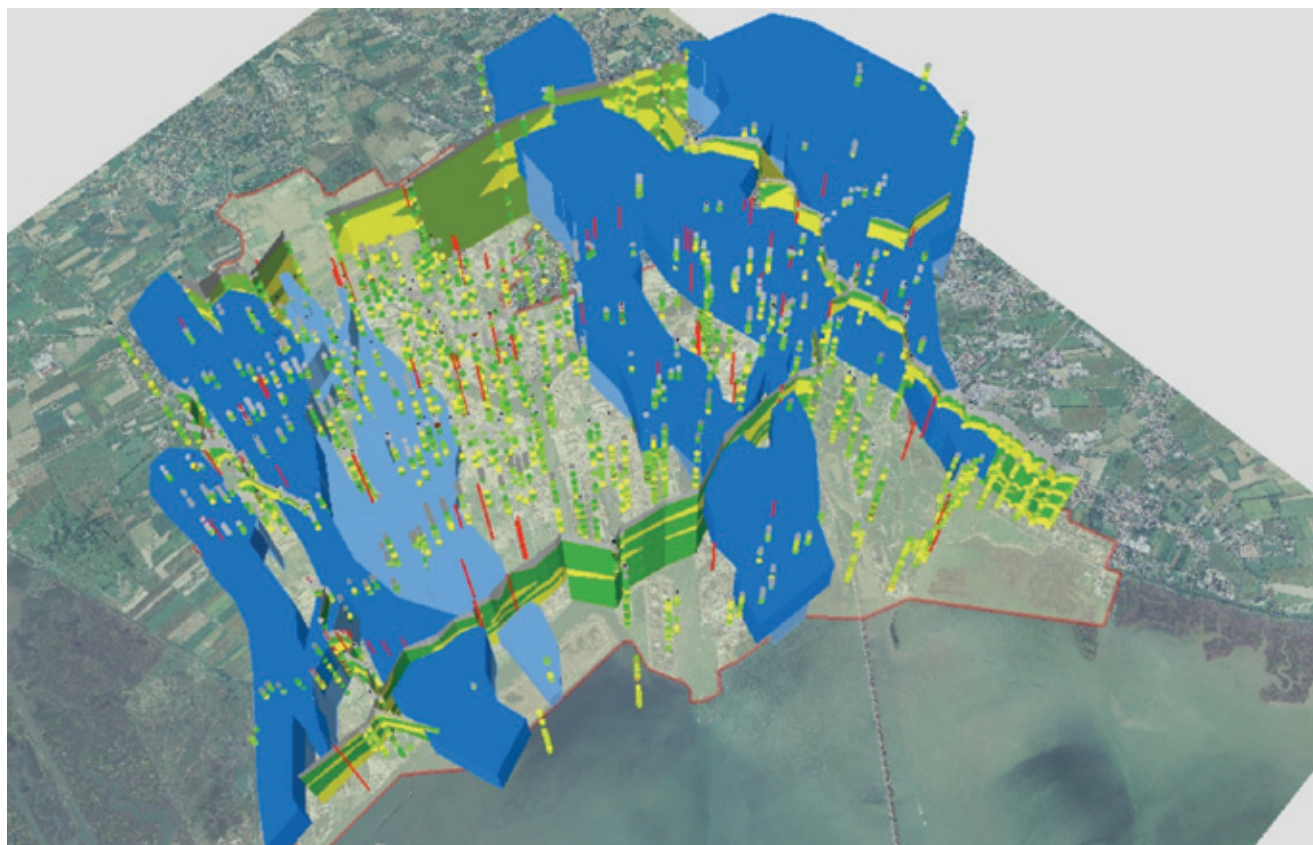


Fig. 12.27 - Schematizzazione tridimensionale della geologia dell'area di Porto Marghera con ubicazione dei punti di misura (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

valori misurati è riportata in Fig. 12.28. La permeabilità varia all'interno di un *range* piuttosto ristretto (un ordine di grandezza) e il valore medio si aggira intorno a $3E-05$ m/s per tutti i corpi acquiferi³³.

L'elaborazione dei dati permette di risolvere alcune incongruenze riscontrate in elaborati precedenti che invece indicavano una forte variabilità della permeabilità (anche di 5 ordini di grandezza) all'interno del medesimo acquifero. Tale discrepanza è stata superata grazie alla corretta ricostruzione del quadro geologico che ha permesso di confrontare i valori di permeabilità effettivamente appartenenti allo stesso corpo acquifero.

La *piezometria* dei corpi acquiferi, nell'area di Marghera, è influenzata da innumerevoli fattori non solo di carattere antropico (marginamenti, dreni e perdite di rete tecnologica, rete superficiale di bonifica ecc.), ma anche naturale, come le maree e le precipitazioni.

La piezometria, in particolar modo, è influenzata dalla marea che fa invertire ciclicamente sia la direzione che il gradiente della falda (Fig. 12.29). Pertanto l'unico modo per studiare e analizzare un sistema così "disturbato" è quello di adoperare un monitoraggio in continuo. Nel caso specifico sono stati strumentati 92 piezometri con 23 sonde multiparametriche in quattro campagne successive, ciascuna relativa a un settore del sito. Dopo aver completato le quattro campagne di indagine, si è svolta una campagna di monitoraggio

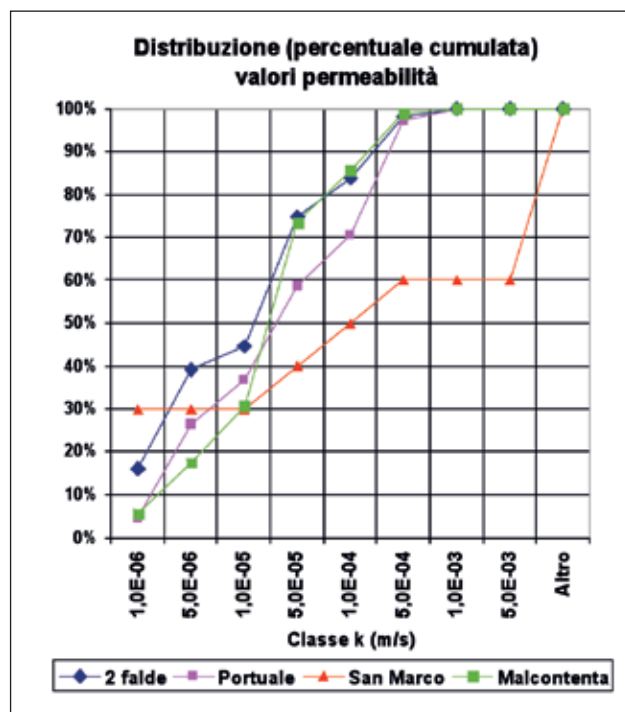


Fig. 12.28 - Valori di permeabilità per gli acquiferi individuati nell'area di Porto Marghera sulla base delle determinazioni su circa 400 piezometri. L'ubicazione prove è riportata nella Tav. 11 (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

³³ Il corpo sabbioso più meridionale (Fusina) non è riportato in quanto non si dispone di un numero di misure sufficiente.

Corpo Acquifero	Permeabilità (m/s)
S. Marco	9,6E-05
Area Portuale	4,8E-05
2 Falde	2,7E-05
Malcontenta	2,6E-05
Fusina	n.d.

Tab. 12.7 - Valori medi di permeabilità dei corpi acquiferi.

in continuo impiegando i 23 piezometri maggiormente significativi distribuiti sull'intero territorio.

A esclusione dell'area di viale San Marco in Mestre, dove il corpo sabbioso è subsuperficiale, i monitoraggi hanno riguardato un acquifero confinato al di sotto del caranto. Le oscillazioni piezometriche quindi non rappresentano il movimento fisico della superficie della falda bensì una variazione di pressione.

Dai monitoraggi emerge chiaramente che il regime piezometrico è fortemente influenzato dalla marea nella maggior parte dei 92 piezometri strumentati. Tuttavia, nelle aree più lontane, si osserva l'effetto delle precipitazioni.

Si sono quindi individuati i piezometri maggiormente influenzati dall'effetto di marea rappresentando, con

opportune elaborazioni grafiche, il grado di smorzamento dell'onda di pressione per ogni singolo piezometro (Fig. 12.30).

Da tali elaborazioni si evidenzia che lo smorzamento è minore laddove il piezometro intercetta un livello in grado di trasmettere in modo più efficiente l'onda di pressione. Al contrario, quando vengono intersecate delle lenti argillose, lo smorzamento è considerevole. Sono stati valutati inoltre gli sfasamenti tra i picchi di marea e i picchi piezometrici.

Generalmente, per produrre le carte isopotenziometriche si interpolano le misure riferite allo stesso acquifero prese in un intervallo limitato di tempo. Nel caso dello studio idrogeologico di Porto Marghera però, poiché le oscillazioni di marea rilevate sui singoli piezometri sono spesso maggiori rispetto alle differenze di livello della falda misurate su ciascuno di essi e poiché ogni piezometro risponde all'effetto di marea con sfasamenti diversi, sarebbe stato poco significativo considerare misure contemporanee per la ricostruzione delle carte piezometriche e avrebbe prodotto degli errori non trascurabili. Infatti, se anche venissero prodotte centinaia di carte isopotenziometriche, otterremmo sempre direzioni e gradienti diversi gli uni dagli altri (e anche opposti) proprio a causa dell'effetto dell'onda di pressione sui singoli piezo-

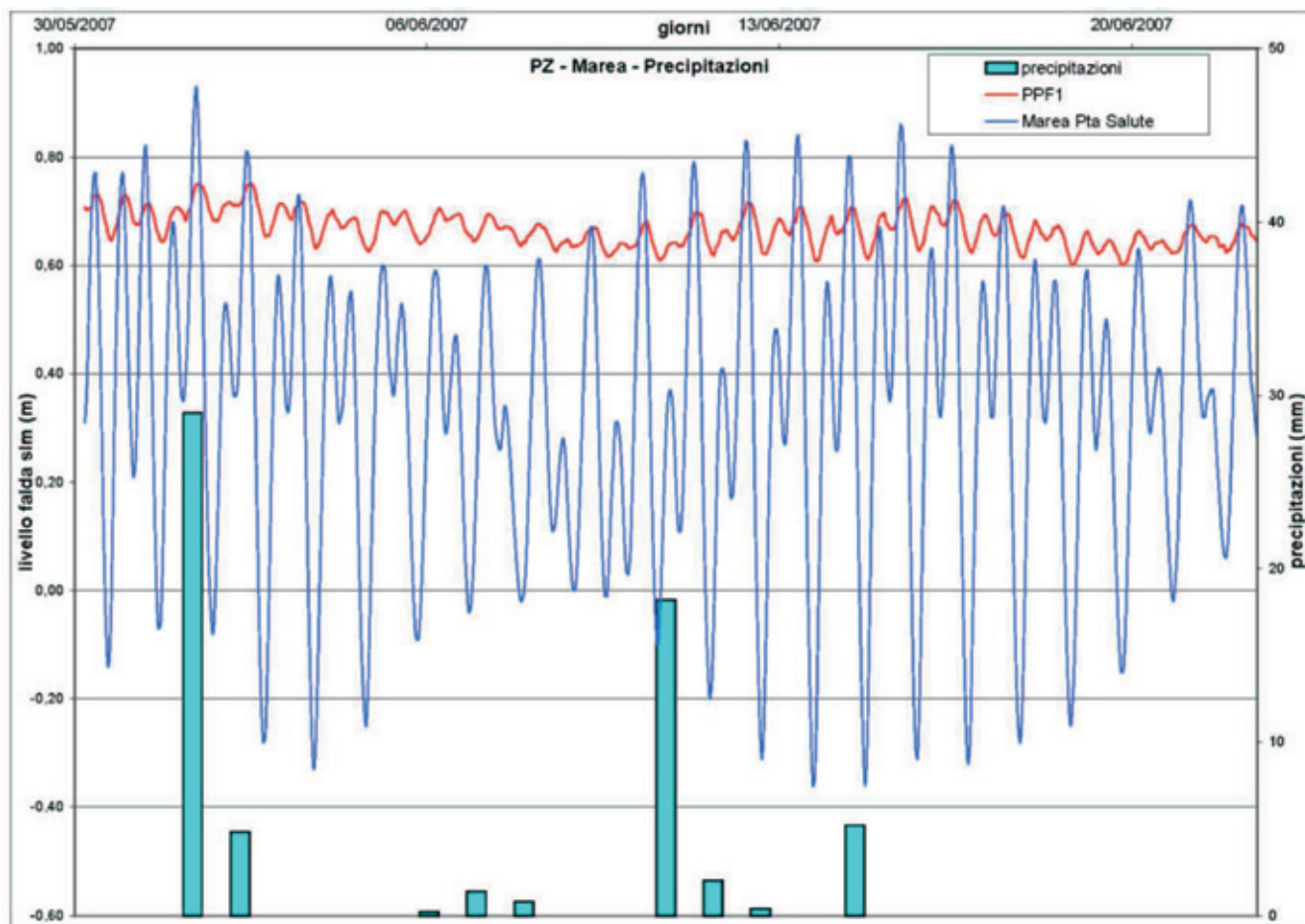


Fig. 12.29 - Tipico comportamento piezometrico negli acquiferi presenti nei primi 20 metri del sottosuolo di Porto Marghera. La piezometrica oscilla in modo sincrono o con uno sfasamento temporale rispetto alle oscillazioni della marea, mentre le quote piezometriche medie tendono a rimanere costanti nel tempo (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

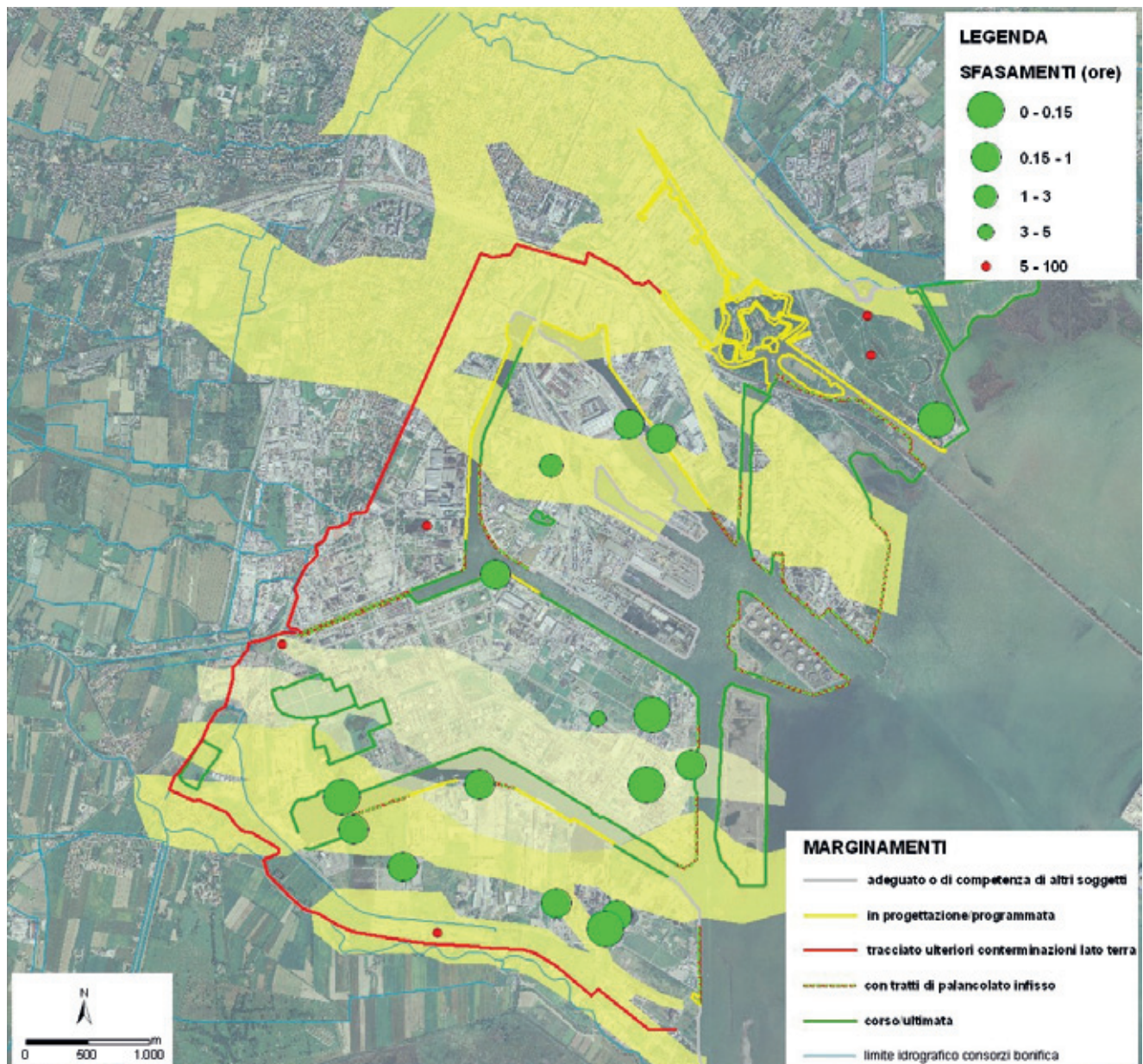


Fig. 12.30 - Rappresentazione degli sfasamenti rispetto alla marea per i piezometri filtrati al di sotto dei 10 m s.l.m. nell'area del SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

metri; in generale comunque si osserva che le quote piezometriche medie sono comprese tra il livello medio mare e +1,0 m s.l.m. e che i gradienti medi sono quasi nulli e comunque inferiori all'1‰. Infatti tutti gli studi esistenti su quest'area valutavano i flussi idrici sotterranei che attraversano i corpi acquiferi con portate estremamente modeste o quasi nulle, con ordini di grandezza del l/s per ciascun corpo acquifero. Tali dati permettono di comprendere come gli inquinanti nelle acque sotterranee, anche a distanza di decenni, rimangano localizzati a breve distanza dalla fonte di contaminazione.

Un esempio della complessità piezometrica viene riportato tramite un profilo che interessa la "penisola della chimica" (Fig. 12.31). Qui la piezometria appare molto complessa in quanto è attivo un sistema di emungimento delle falde che altera significativamen-

te il regime dell'acquifero confinato. Generalmente la quota della falda è mantenuta al di sotto di un determinato livello imposto, tuttavia in alcune aree, lontane dai punti di drenaggio, la falda rimane abbastanza elevata, sintomo dell'esistenza di fattori che tendono a mantenere e a innalzare la pressione dell'acquifero al di sotto del caranto.

In sintesi lo studio di quella che rappresenta l'area campione sugli acquiferi superficiali della provincia ha definito il seguente quadro:

- il quadro geologico prevede l'esistenza di quattro corpi sabbiosi, due superficiali nell'area a nord tra loro interconnessi e due maggiormente profondi nell'area meridionale intercomunicanti; in corrispondenza del Nuovo Petrolchimico e in un limitato settore sul margine est della penisola di Fusina, si individua un sistema a doppia falda confinata. I corpi sabbiosi

- settentrionali e meridionali sono separati da una fascia centrale, allungata in senso E-O, pressoché impermeabile e con sedimentazione fine;
- la permeabilità media rilevata in corrispondenza dei quattro corpi acquiferi è di $3E-05$ m/s;
- i livelli piezometrici medi si pongono tra 0,0 m e 1,0 m s.l.m.;
- i sistemi di drenaggio attivi influenzano pesantemente il regime della falda e ne controllano efficacemente la piezometria;

- l'andamento piezometrico nell'area centrale del SIN è governato essenzialmente dalle maree;
- nelle aree a monte, la piezometria è influenzata anche da altri fattori e, in modo particolare, dalle precipitazioni;
- il gradiente è spesso inferiore dell'1‰ e varia continuamente in direzione e valore; esso altera i flussi che tendono a essere molto bassi se non nulli, e comunque molto variabili nel tempo e nello spazio.

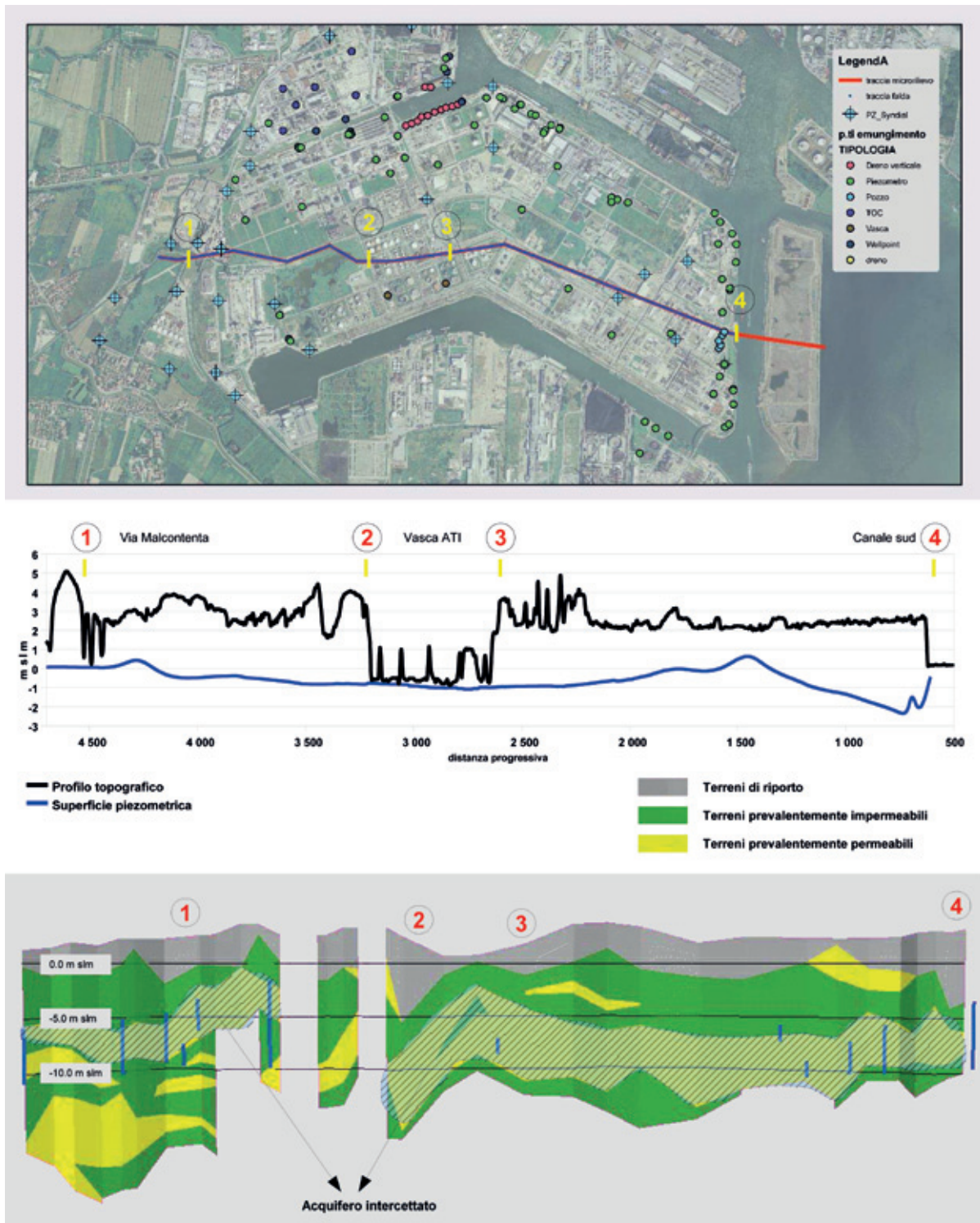


Fig. 12.31 - Piezometria media lungo un profilo con direzione O-E nell'area di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

RETE DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE IN PROVINCIA DI VENEZIA

Pietro Zangheri³⁴, Marina Aurighi³⁵

Tra le varie iniziative del Servizio Geologico della Provincia di Venezia nel campo idrogeologico vi è stato anche il progetto "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee in provincia di Venezia"; iniziato nel 1997 è stato pubblicato in CD-Rom nel 2001. Infatti, la predisposizione di una efficiente rete di monitoraggio³⁶ delle acque sotterranee costituisce la base informativa per la gestione delle acque sotterranee stesse.

Il progetto, perseguendo fini comuni con un'analogia iniziativa curata dalla Regione Veneto - Dipartimento per l'Ecologia e la Tutela dell'Ambiente e finalizzata al monitoraggio idrogeologico degli acquiferi della Pianura Veneta, è stato realizzato, sulla base di quanto previsto da un apposito protocollo d'intesa del 1997, in collaborazione anche con altri Enti (Genio Civile, CNR, ULSS) oltre che con la Regione stessa.

Con l'istituzione dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) importanti competenze in materia di monitoraggi ambientali sono state affidate a questo ente, e in particolare le attività di monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee; a tal scopo la Provincia ha trasmesso ad ARPAV, a conclusione del progetto, tutti i dati raccolti in quanto utili per il proseguimento dei monitoraggi, che quindi non sono stati più proseguiti dalla Provincia.

Il progetto "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee in provincia di Venezia" è consultabile sul sito della Provincia <http://www.difesa-suolo.provincia.venezia.it> (Pubblicazioni), mentre la sua prosecuzione con ampliamento all'intero territorio regionale si trova sul sito dell'ARPAV www.arpa.veneto.it (Acque sotterranee).

Il progetto della Provincia con la Regione è iniziato con la fase documentale, da cui era risultato che:

- la provincia di Venezia non era mai stata interessata da reti di monitoraggio qualitative dedicate, mentre era in parte compresa in preesistenti reti quantitative;
- esistevano dati preesistenti, seppur limitati ad alcune aree, per quanto riguarda la piezometria delle falde;
- la qualità delle falde era scarsamente nota, anche se esistevano numerose analisi chimiche, però disuniformi nel metodo, nei tempi di realizzazione e nei criteri di campionamento;
- in alcune aree della provincia (comuni di Scorzé e Gruaro) erano presenti alcuni importanti punti di captazione di acquedotti dove venivano periodicamente effettuati controlli idrochimici;

- molti pozzi compresi in preesistenti reti di monitoraggio erano caratterizzati in modo lacunoso e, più in generale, riguardo la stragrande maggioranza di pozzi esistenti non erano reperibili informazioni basilari quali la stratigrafia e la posizione dei filtri.

Nella realizzazione del progetto "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee" si è dovuto tener conto di alcune problematiche specifiche, legate alla particolare struttura geologica della provincia di Venezia, alle caratteristiche costruttive dei pozzi esistenti e agli usi delle acque.

In particolare:

- 1) nelle aree in cui i pozzi sono a erogazione sponanea, si ha la diffusa abitudine di lasciare i pozzi a erogazione continua: ciò sta comportando una progressiva diminuzione della quota piezometrica delle falde;
- 2) negli ultimi anni, nell'area della risorsa termale, sono proliferati pozzi profondi (500-600 m) che, oltre a problemi di tipo amministrativo (irregolarità e/o abusivismo degli approvvigionamenti), comportano una serie di rischi ambientali legati alla depressurizzazione degli acquiferi;
- 3) vi è una diffusa presenza di falde che, per cause naturali, risultano non potabili per eccesso di ferro e ammoniaca, a cui possono essere associati altri metalli tra cui l'arsenico (acque che, secondo il previgente D.Lgs. 152/99, vanno classificate in "classe 0 - stato naturale particolare");
- 4) sono diffusi gli approvvigionamenti idrici autonomi a scopo potabile (aree non servite da acquedotto o causa mancato allacciamento da parte dei privati, pure in presenza di un'adiacente rete acquedottistica);
- 5) la struttura idrogeologica è composta da una serie di falde confinate sovrapposte: in alcune aree, infatti, si hanno dieci falde nei primi 600 m di sottosuolo. Un corretto monitoraggio in queste condizioni dovrebbe prevedere la presenza di una rete per ciascun acquifero e considerare che possono esistere interconnessioni tra i vari acquiferi, attraverso livelli semipermeabili e soprattutto per la diffusissima presenza di pozzi emungenti falde diverse o male o affatto cemen-

³⁴ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it

³⁵ Regione Veneto - Servizio Tutela Acque.

³⁶ Col termine "monitoraggio" si definisce <l'attività standardizzata di misura e osservazione dell'ambiente> (UNESCO, 1978).

tati in presenza di *acquiclide*. Di fatto, però, ciò risulta complesso; si è pertanto adottato il criterio di privilegiare il controllo degli acquiferi maggiormente significativi sulla base dei risultati della *“Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia”*;

- 6) si registra la presenza di numerosi pozzi privi di stratigrafia; tale elemento non solo riduce drasticamente il numero di pozzi ove il monitoraggio è realizzabile in modo ottimale, ma rende difficile l'esecuzione di profili idrogeologici, fondamentali per l'interpretazione dei dati raccolti;
- 7) vi è in generale perdita di efficienza dei pozzi che emungono acquiferi in pressione; nei pozzi artesiani, in particolare quando non siano stati correttamente costruiti, con il passare del tempo si possono verificare fenomeni di intasamento e/o di incrostazione dei filtri che provocano la diminuzione dell'efficienza;
- 8) sull'intero territorio provinciale è presente una falda freatica il cui monitoraggio necessita di una base di conoscenze geologiche che all'epoca non erano disponibili (attualmente in fase di acquisizione grazie al “progetto IDRO” di cui alla specifica scheda in questo stesso capitolo).

Da quanto esposto ne consegue che la “soluzione ottimale” sarebbe stata quella di costruire appositi pozzi di monitoraggio, sia per la falda freatica che per le falde confinate. Ciò però avrebbe comportato costi rilevanti e, anche alla luce della sopraggiunta competenza all'ARPAV, la Provincia ha deciso di non finanziare l'esecuzione di tali pozzi, demandando all'ARPAV la scelta se effettuare tale eventuale incombenza. Di conseguenza la rete si è basata su una selezione accurata di pozzi esistenti.

Riguardo la densità dei punti di controllo va rilevato che questi non sono stati selezionati secondo maglie regolari, ma in modo ragionato sulla base della struttura idrogeologica.

Monitoraggio quantitativo

Il gruppo di lavoro sul monitoraggio delle acque sotterranee, appositamente istituito nell'ambito del progetto e comprendente rappresentanti di diversi enti, aveva stabilito che le misure quantitative sull'intera rete dovevano avvenire almeno con cadenza trimestrale a partire da fine gennaio di ogni anno. Ciò è risultato in linea con quanto poi stabilito dal D.Lgs. 152/99 (che normava anche la materia dei monitoraggi). Era stata anche indicata l'importanza di avere un maggior dettaglio in alcuni punti significativi, strumentando alcuni pozzi con misuratori di livello (e, possibilmente, altri parametri) in continuo.

Monitoraggio qualitativo

Il citato gruppo di lavoro aveva stabilito che andassero monitorati i seguenti parametri chimici: pH, Temperatura (°C), Organo alogenati (µg/l), Conduttività (µS/cm), Erbicidi (µg/l), Cloruri (mg/l), Solfati (mg/l), Calcio (mg/l), Magnesio (mg/l), Sodio (mg/l), Potassio (mg/l), Durezza totale (°F), Nitrati (mg/l), Ammoniaca (mg/l), Ferro (mg/l), Manganese (µg/l), Arsenico (µg/l), Cadmio (µg/l), Cromo esavalente (µg/l), Cromo totale (µg/l), Piombo (µg/l), Alluminio (mg/l), Boro (µg/l), Cianuri (µg/l), Fluoruri (µg/l), Fosfati (µg/l), Nichel (µg/l), Nitriti (mg/l), Rame (µg/l), Zinco (µg/l), Selenio (µg/l), Mercurio (µg/l), Antimonio (µg/l), Alcalinità (mg/l).

Le campagne di campionamento previste sono state a cadenza semestrale in coincidenza con due di quelle della rete quantitativa (aprile e ottobre).

Struttura della rete di monitoraggio

La rete di monitoraggio provinciale era stata costituita da oltre ottanta pozzi, dodici dei quali interessavano la falda freatica e venivano utilizzati per sole misure di livello; i rimanenti punti, che captavano il sistema di falde in pressione, erano generalmente utilizzati sia per la misurazione dei livelli di falda, che per il controllo di qualità.

Nella Fig. 12.33 sono indicate le ubicazioni dei pozzi facenti parte della rete di monitoraggio provinciale.

I dati relativi ai pozzi di monitoraggio sia della rete quantitativa che di quella qualitativa (che nella maggior parte dei casi coincidono) sono stati riportati per l'archiviazione in apposite schede informatizzate.

Considerazioni conclusive

Il progetto “Rete di monitoraggio delle acque sotterranee” ha permesso di acquisire una base di informazioni idrogeologiche e di iniziare sistematici monitoraggi, indispensabili a una corretta gestione della risorsa “acqua sotterranea”.

Ciò è di particolare importanza per la provincia di Venezia, area dove, da una parte, la ricchezza delle risorse idriche sotterranee è il presupposto per lo sviluppo di importanti attività economiche e, dall'altra, si hanno reali rischi di sovrasfruttamento degli acquiferi che, si ricorda, potrebbero comportare importanti effetti sull'equilibrio idrogeologico (subsidenza, cuneo salino, depauperamento quantitativo).

Il lavoro è stato possibile grazie alla collaborazione di più Enti, elemento indispensabile per l'efficacia delle azioni, dato il frazionamento delle competenze sulle risorse idriche.

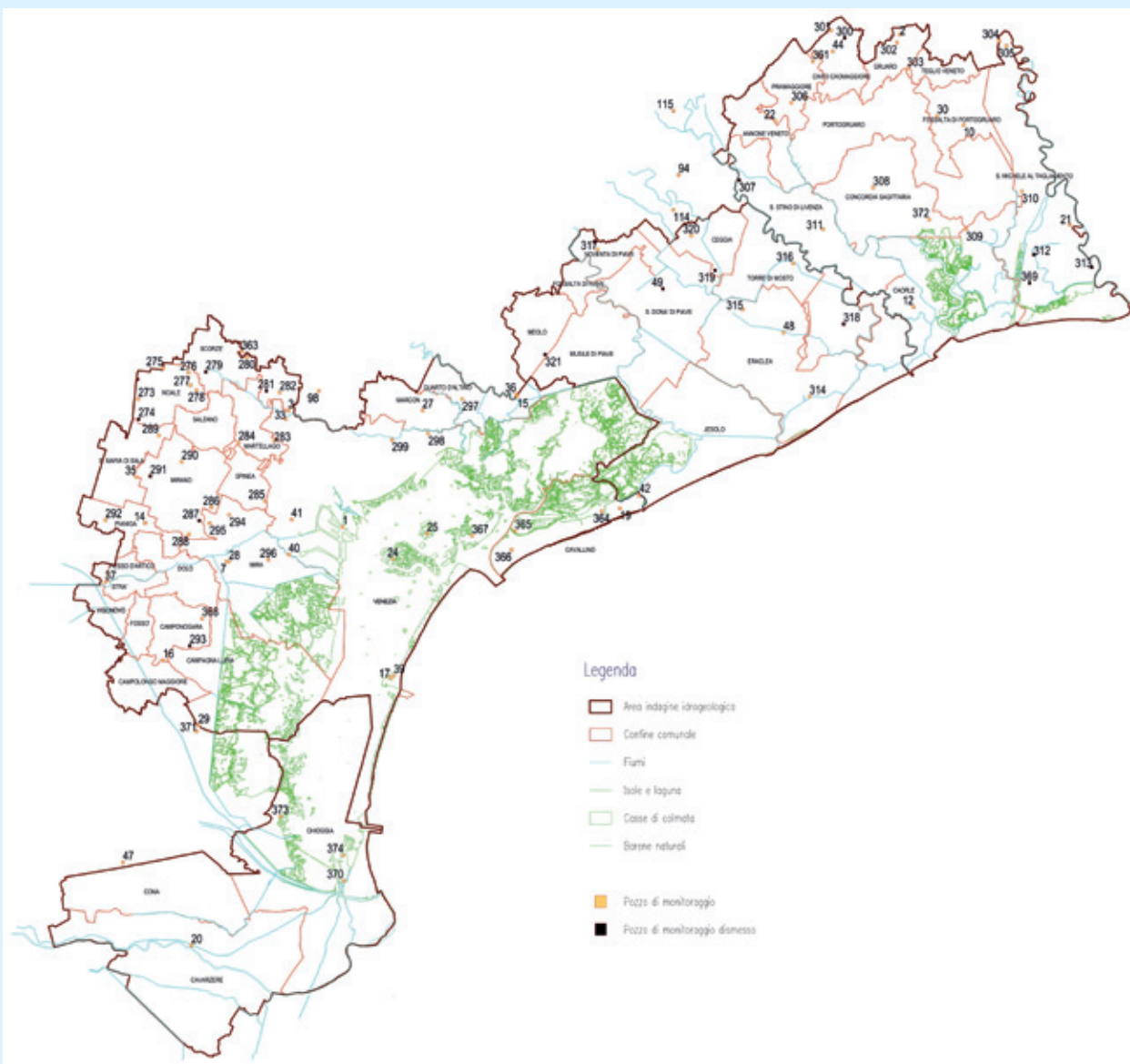


Fig. 12.33 - Rete di monitoraggio delle acque sotterranee.

INDAGINE IDROGEOLOGICA SULLA PRIMA FALDA IDRICA SOTTERRANEA DEL PORTOGRUARESE

Andrea Vitturi - Provincia di Venezia. Servizio Geologico e Difesa del Suolo

Nell'ambito degli studi agronomici realizzati per la valorizzazione dei vigneti a d.o.c di Lison Pramaggiore, nel portogruarese, è stata realizzata nel 1985-88 un'indagine sulla prima falda idrica sotterranea di tale territorio (genericamente chiamata "falda freatica"). I risultati delle indagini sono stati pubblicati nel 1988 in "Carta nutrizionale e tematico-vocazionale della zona a d.o.c. di Lison-Pramaggiore (territori provinciali di Venezia, Pordenone e Treviso"; autori: MARIO FREGONI, LUIGI BAVARESCO, RENZO GAIATTO, ANDREA VITTURI).

Le misure sulla prima falda fatte per tale studio sono le uniche realizzate dalla Provincia su un'area assai estesa, e quindi si ritiene che quest'unico esempio meriti di essere ricordato, ancorché pionieristico. Si rinvia allo stralcio della pubblicazione per la sua parte geologica, presente nel sito *web* del Servizio Geologico della Provincia di Venezia³⁷, per approfondimenti e per i dati relativi alle misure della falda.

L'indagine è consistita in:

- 1) ricerca di dati bibliografici esistenti, loro acquisizione e verifica;
- 2) censimento (riportato su apposite schede) di n° 287 pozzi esistenti relativi alla prima falda (pozzi a largo diametro profondi pochi metri);
- 3) esecuzione di sei campagne di misura, di cui due in fase di magra e quattro in fase di piena

(3÷26.09.85; 4÷14.02.86; 8÷31.07.86; 9÷11.02.87; 21÷30.03.87; 20.06÷8.07.88);

- 4) elenco dei dati misurati, riportandoli su apposite schede monografiche, e loro elaborazione, con stesura delle relative carte della profondità della falda dal piano campagna (p.c.) e delle isofreatiche;

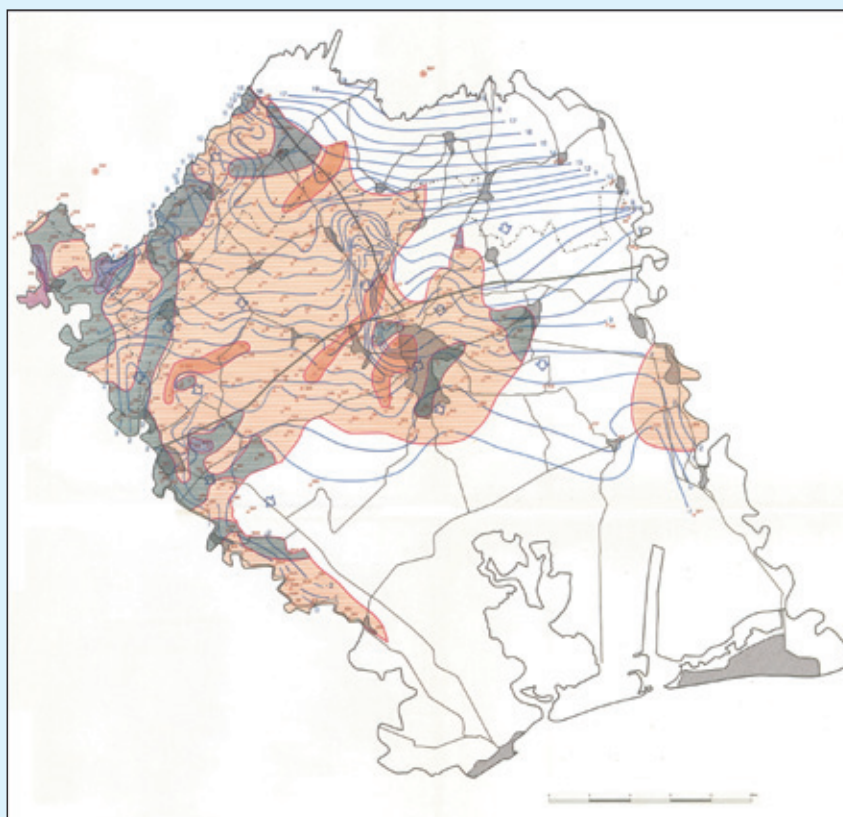
- 5) elaborazione dei dati bibliografici esistenti con stesura di una carta indicante, in via preliminare, il tipo di falda esistente e di una serie di grafici illustranti le oscillazioni della falda nel tempo relativamente a due stazioni del Magistrato alle Acque di Venezia;

- 6) stesura della relazione tecnica.

In questa scheda viene riportata nella Fig. 12.34 la "Carta della profondità della falda freatica dal piano campagna in fase di piena (misure del 21÷30.03.1987) e relative isofreatiche, con indicazione delle principali direzioni del deflusso freatico" (scala 1:100.000 nell'originale).

In quanto all'epoca si trattava di un aspetto metodologico innovativo, si riporta in questa scheda principalmente una serie di indicazioni che ponevano in risalto i limiti del metodo stesso, in quanto essi non venivano

³⁷ www.difesasuolo.provincia.venezia.it.



LEGENDA

- Limiti di provincia
- Strade statali e provinciali
- Autostrade
- Centri abitati
- Pozzo freatico di misura, con numero d'ordine
- Pozzo freatico in osservazione periodica, con numero d'ordine
- Linea isofreatica (m s.l.m.)
- Principali direzioni di deflusso freatico
- Profondità della falda freatica dal piano campagna:**
- da 0,00 a 0,75 m
- da 0,76 a 1,50 m
- da 1,51 a 2,25 m
- da 2,26 a 3,00 m
- da 3,01 a 3,75 m
- oltre 3,75 m

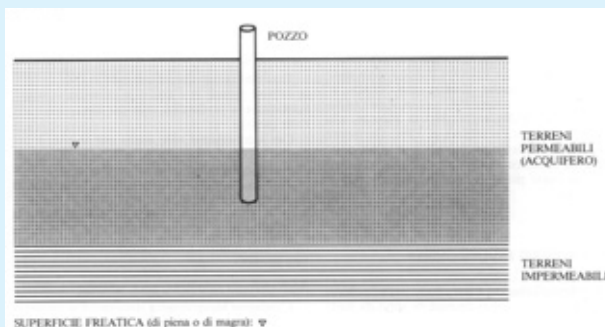
Fig. 12.34 - "Carta della profondità della falda freatica dal piano campagna in fase di piena (misure del 21÷30.03.1987) e relative isofreatiche, con indicazione delle principali direzioni del deflusso freatico" (scala 1:100.000 nell'originale).

considerati anche nell'ambito di studi di ben maggior importanza e con risorse (tecniche ed economiche) ben superiori all'indagine provinciale effettuata.

Per primo aspetto, basandosi sui risultati (allora recenti) dello "Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord-orientale" (PROVINCIA DI VENEZIA, 1983) sono state dapprima cartografate le aree nelle quali la falda è spesso a pelo libero e quelle nelle quali è invece possibile (e spesso probabile) che sia in pressione, nonché le aree nelle quali è improprio parlare di acqua di falda trattandosi di terreni prevalentemente argillosi.

a) Falda freatica a pelo libero

La falda freatica è a pelo libero quando la sua superficie è libera di muoversi, e quindi la falda è alloggiata in terreni permeabili (per lo più sabbiosi) senza avere al suo tetto terreni impermeabili (per lo più argille) che ne ostacolano o impediscano le oscillazioni nel tempo. In questo caso, che viene schematizzato nella sottostante figura, le misure fatte corrispondono alla reale situazione della falda nel sottosuolo e quindi hanno piena validità.



b) Falda risaliente

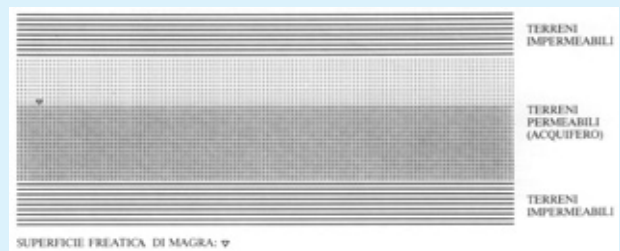
Diverso è il caso che si presenta quando la prima falda è debolmente in pressione; ciò si verifica quando essa, pur sempre alloggiata in terreni permeabili, è delimitata al suo tetto da un orizzonte impermeabile. Qualora questo impedisca il libero innalzarsi della superficie piezometrica (e ciò può avvenire anche nella sola fase di piena della falda), si originano delle sottopressioni alla base dell'orizzonte impermeabile che, di norma, però, non hanno la forza di sifonare (cioè perforare) tale orizzonte, per cui la falda resta strettamente confinata nello strato acquifero.

Se invece per un qualsiasi motivo, per esempio nel corso della realizzazione di un pozzo idrico, si perfora lo strato impermeabile raggiungendo l'acquifero, la falda in tal punto potrà raggiungere il suo equilibrio piezometrico.

Nelle figure successive si schematizza quanto esposto.

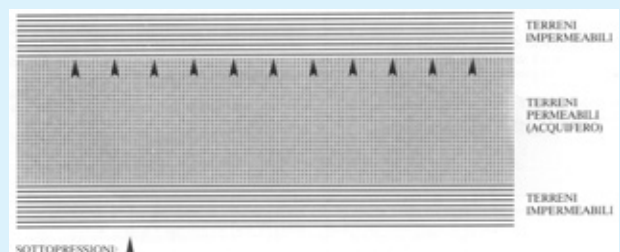
- Fase di magra

In questo caso non vi è nessuna sostanziale modifi-

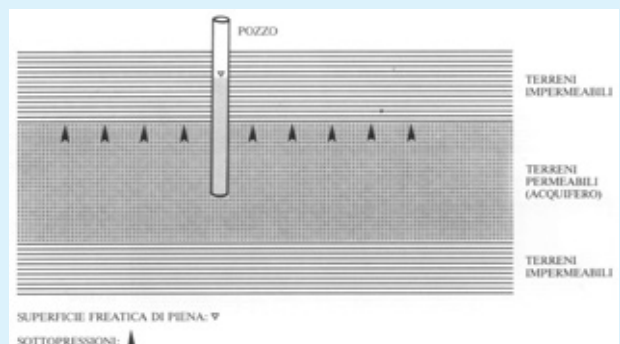


ca (se non per l'alimentazione della falda) rispetto a quanto descritto per la falda a pelo libero. Da notare che anche in questo caso (come per la falda libera) si ha l'esistenza di una frangia d'acqua sovrastante la superficie freatica dovuta alla risalita capillare (che dipende dalle caratteristiche granulometriche del materiale costituente lo strato acquifero).

- Fase di piena



Se si perfora un pozzo la situazione naturale viene modificata come si vede nella figura seguente.



Risulta quindi che la superficie piezometrica, che è quella misurata nei pozzi nel corso dell'indagine, è a profondità dal piano campagna inferiore rispetto a quella reale, dalla quale potrebbero cioè attingere gli apparati radicali delle piante.

Infine, nello studio eseguito era stato anche segnalato un altro limite della metodologia adottata; è infatti possibile effettuare misure solo nelle zone dove esistono pozzi di prima falda in numero sufficiente e adeguatamente distribuiti. Dove non ci sono tali caratteristiche è necessario, per avere sufficienti indicazioni, eseguire successive apposite indagini, di norma ben più costose in quanto presuppongono l'esecuzione di sondaggi con installazione di piezometri.

Nonostante le limitazioni al metodo prima indicate, le conoscenze idrogeologiche acquisite sono state utili ai fini delle finalità di zonizzazione vitivinicola del progetto.

TENDENZE EVOLUTIVE NELLA RICARICA DEGLI ACQUIFERI SOTTERRANEI NELL'AREA DI SCORZÈ



A cura di Enrico Conchetto - AATO "Laguna di Venezia"

(Tratto dal lavoro, inedito, realizzato nell'ambito del *Progetto per la definizione dei tempi di transito delle acque sotterranee e dei bacini di alimentazione delle falde nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"* condotto dall'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" in collaborazione con l'Università Paul Cézanne di Marsiglia. Hanno partecipato al progetto: Enrico Conchetto (AATO Laguna di Venezia), Adriano Mayer, Christelle Claude, Lucilla Benedetti, Hélène Miche, Jean Paul Ambrosi, Christine Vallet-Coulomb (CEREGE Aix-en-Provence), Jürgen Sültenfuss (Università di Brema), Roland Purtschert (Università di Berna), Yves Travi, Milanka Babic (Università di Avignone e Paesi Voclusiani), Corinne La Gal La Salle, Romain Rebeix, Véronique Lavastre (Università di Nîmes), Olivier Radkovitch (Università Paul Cézanne, Aix-Marseille III).

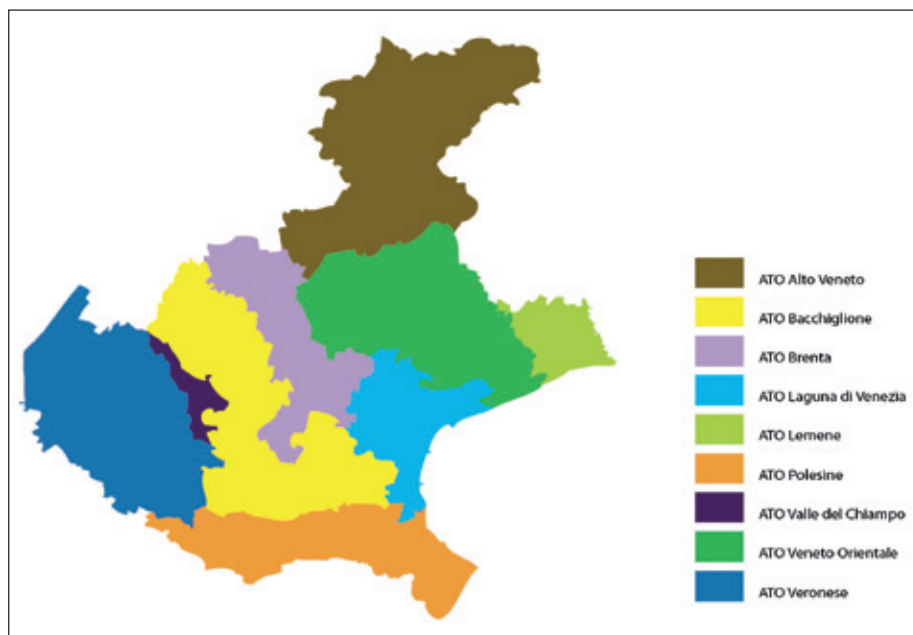
La legislazione che disciplina il settore idrico in Italia (D.Lgs. n° 152/2006 che sostituisce, pur mantenendone i principi, la L. 36/1994, detta "Legge Galli") dispone che la gestione del Servizio Idrico avvenga a livello integrato, abbracciando l'intero ciclo dell'acqua (captazione, adduzione e distribuzione idropotabile, raccolta e convogliamento dei reflui fognari e infine depurazione e scarico in corpo idrico). La legge Galli ha, infatti, avviato un processo di superamento di una situazione di estrema frammentarietà della gestione del servizio che impediva di servire ampi bacini di utenza, applicando una gestione di tipo industriale con la razionalizzazione del settore e recupero di efficienza e responsabilità. A seguito dell'entrata in vigore della Legge Galli (L. 36/94), la L.R. 5/98 del Veneto ha individuato e definito l'estensione degli Ambiti Territoriali Ottimali - ATO. L'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" svolge nel territorio di competenza le funzioni di pianificazione, governo e controllo dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione ed è stata costituita il 29 luglio 1998 nella forma di Convenzione tra enti locali. Il territorio di competenza comprende 25 comuni, dei quali 20 ricadenti nella provincia di Venezia e 5 nella provincia di Treviso.

Le AATO, nello scenario delle frammentarie competenze che rivestono le pubbliche istituzioni relativamente alla matrice ambientale "acqua", assumono un ruolo fondamentale nella difesa della risorsa idrica che viene prelevata ai fini dell'immissione in rete acquedottistica, in quanto rappresenta la materia prima che alimenta l'intero ciclo integrato dell'acqua. Negli ultimi decenni, attraverso numerosi dati e studi scientifici, è stata registrata una significativa e generalizzata diminuzione della pressione nelle falde freatiche e artesiane del Veneto, che in generale è rivelatrice di una progressiva riduzione della risorsa idrica disponibile. L'abbassamento della pressione può essere generato da un aumento delle portate complessive di emungimento, ma anche da una diminuzione della capacità di ricarica degli acquiferi stessi, dovuta ad esempio alla recente riduzione delle precipitazioni meteoriche complessive nei bacini versanti oppure a interventi idraulici antropici.

In sintesi, le cause possono essere così riassunte:

- a) aumento delle portate complessive di emungimento, con situazioni di competizione tra più soggetti nell'utilizzo della risorsa;
- b) diminuzione della capacità di ricarica degli acquiferi stessi per:

1. estremizzazione degli eventi meteorici (incapacità di ricarica);
2. riduzione complessiva delle precipitazioni nei bacini versanti;
3. interventi idraulici sui fiumi e corsi d'acqua in generale;
4. urbanizzazione;
5. modalità di utilizzo delle acque in agricoltura.



Indipendentemente dalle cause che stanno all'origine del problema, l'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" ha dovuto constatare che **il sistema idrogeologico utilizzato anche per il prelievo della risorsa idropotabile si sta impoverendo.**

L'AATO Laguna di Venezia ripone particolare attenzione alle problematiche legate allo stato di salute della risorsa idrica sotterranea in quanto, nell'ambito delle proprie funzioni, deve verificare, su periodo trentennale, che la richiesta idrica da parte dell'utenza, comprensiva delle previsioni del suo sviluppo demografico, possa essere soddisfatta dall'approvvigionamento acquedottistico. Attualmente il prelievo si basa per la maggior parte sull'estrazione di acqua di falda artesia proveniente dagli acquiferi confinati di media pianura, situati a profondità comprese tra -30 e -340 metri dal piano campagna.

La verifica della rispondenza tra la domanda idrica e l'offerta (disponibilità naturale della risorsa), che garantisce la sostenibilità del Servizio Idrico Integrato, è possibile soltanto se si è in grado di rispondere a una serie di quesiti:

- Quanta acqua è presente nel sottosuolo?
- Quanta acqua entra nel sistema acquifero?
- Quali sono gli acquiferi più produttivi?
- Quanta acqua prelevano i privati?
- Quanta acqua è disponibile per il prelievo acquedottistico?
- Da dove arriva l'acqua che beviamo?
- Quanta risorsa è rinnovabile?
- Riesce il sistema acquifero a rispondere alla crescente richiesta d'acqua?

L'effetto del progressivo impoverimento del patrimonio idrico sotterraneo nel Veneto e del suo progressivo degrado qualitativo (serbatoio che per lo più alimenta gli acquedotti di pianura) negli ultimi decenni è stato fronteggiato, dai gestori degli acquedotti, con una progressiva ricerca di risorse idropotabili sempre più profonde. Questa è una soluzione che però non porta molto lontano perché il serbatoio da cui traggono alimentazione tutte le falde utilizzate per scopo idropotabile è unico e alimentato soltanto in una porzione della pianura.

L'AATO "Laguna di Venezia", da parte sua, per trovare una soluzione alla situazione di criticità che si protrae da lunghi anni e per trovare le risposte ai quesiti sopra citati, ha avviato nel 2005 un programma di approfondimento delle conoscenze sulle caratteristiche del sottosuolo che, unitamente alla caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi individuati, ha fornito un modello geologico e idrogeologico dettagliato di riferimento. Tale percorso ha portato anche alla definizione del **bilancio idrogeologico** e all'acquisizione di tutte le conoscenze necessarie all'attuazione di una corretta politica di gestione ecosostenibile del patrimonio idrico sotterraneo nel proprio territorio di competenza. Tuttavia, non seguendo l'acqua i confini amministrativi si rende necessario, in un quadro di generale sofferenza dello stato di salute del sistema idrogeologico utilizzato anche dall'AATO per scopi idropotabili, individuare e chiarire a scala regionale i processi in atto nel sistema, in modo da ottenere una chiave di lettura chiara e completa della sua tendenza evolutiva.

Perciò, oltre all'analisi strutturale e quantitativa del sistema idrogeologico sotterraneo che hanno fornito buona parte delle risposte ai quesiti su elencati, l'AATO Laguna di Venezia ha avviato uno studio volto a individuare, in tutta l'alta e media pianura veneta tra i fiumi Brenta e Piave, i processi che intervengono nel rinnovamento della risorsa. Per una corretta comprensione di tali processi è importante tenere in considerazione oltre ai parametri quantitativi volumetrici anche il tempo di rinnovo, questione che si è tradotta nella valutazione della durata del processo di filtrazione dell'acqua nel sottosuolo dopo l'abbandono del contatto con l'atmosfera; tale intervallo di tempo corrisponde convenzionalmente con l'**età dell'acqua** prelevata dal sottosuolo.

L'approccio a tale materia ha imposto da subito la necessità di affrontare due tipologie di problematiche: una relativa al mescolamento delle acque provenienti da aree di alimentazione diverse; l'altra legata invece al mescolamento di acque provenienti dalla medesima area di alimentazione, ma di età diversa.

Ecco spiegato il motivo per cui nell'ambito del *Progetto per la definizione dei tempi di transito delle acque sotterranee e dei bacini di alimentazione delle falde nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"* sono state adottate numerose tipologie di determinazioni geochimiche e isotopiche. In particolare:

- 1) *parametri analizzati in campo*: EC, T, O₂, alcalinità, OX sat %, pH, eH;
- 2) *isotopi analizzati in laboratorio*: ³H, ³He, ⁴He, ²²Ne, ³⁹Ar, ³⁷Ar, ³⁶Cl, ⁸⁵Kr, ²²²Rn, ²²⁶Ra, ²²⁴Ra, ²²³Ra, ¹⁸O, ²H, ³⁴S, ¹⁴C, ¹³C, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr;
- 3) *anioni e cationi analizzati in laboratorio*: Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺, Si⁴⁺, Al³⁺, Ba²⁺, Cu²⁺, Fe_{tot}²⁺, Mn²⁺, Sr²⁺, As, Sb, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Fe²⁺, HCO₃⁻, F⁻, Br⁻, tracce e ultra-tracce;
- 4) *sistemi cronometrici adottati*: ³H - ³He, ⁴He, ¹⁴C, ⁸⁵Kr, ³⁹Ar, SF₆, CFC12, CFC13, ³⁶Cl.

Distinzione delle acque sotterranee basata su SO₄²⁻, NO₃⁻ e isotopi stabili (O e Sr).

L'indagine, estesa al territorio compreso tra la fascia di media pianura a sud, la zona pedemontana a nord e i fiumi Brenta e Piave rispettivamente a ovest e ad est, ha permesso di individuare dal punto di vista geochimico e isotopico quattro poli estremi di mescolamento delle acque (Fig. 12.35).

Le concentrazioni di bicarbonati (pCO₂), solfati e nitrati e i rapporti isotopici ¹⁸O e ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr permettono una buona distinzione delle acque analizzate e delle relative zone di ricarica (Tab. 12.8). Una prima importante distinzione può esser fatta tra acque radiogeniche (elevato rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) e acque non radiogeniche (basso rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr).

Le acque **radiogeniche** possono provenire dal fiume Brenta (tipo B) oppure da piogge e irrigazioni attraverso i suoli dell'alta pianura (tipo U). Tale caratteristica è dovuta alla presenza di ⁸⁷Sr radiogenico, ri-

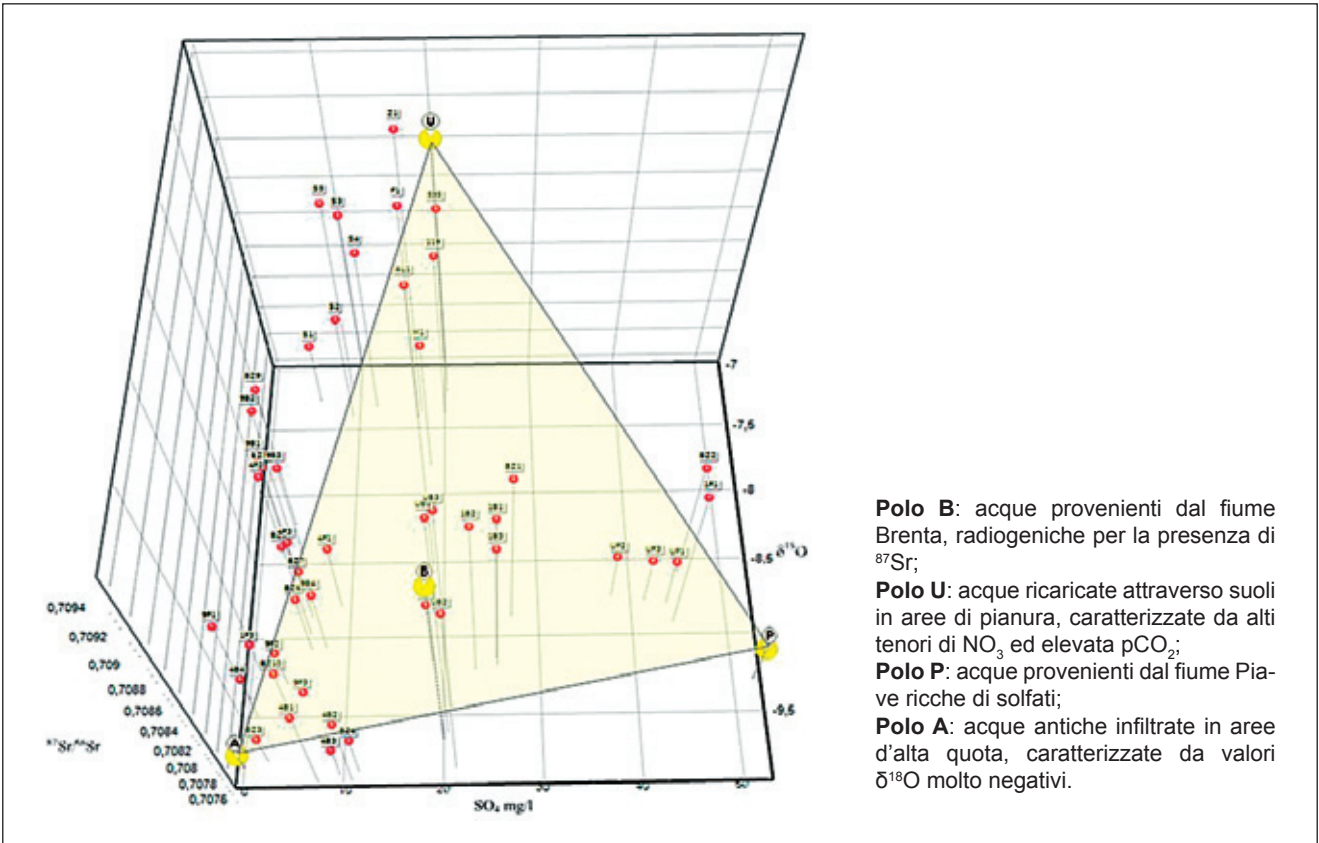


Fig. 12.35 - Rappresentazione dei poli estremi di mescolamento (*end member*) e dei vari termini intermedi riscontrati nelle acque sotterranee.

	RADIOGENICHE					NON RADIOGENICHE	
	B (Fiume Brenta)	U (acquifero indifferenziato)				P (Fiume Piave)	A
		UB		UM	UP		
		vicino a B	più lontano da B	lontano da B e da P	Influenzato da P		
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO-ALTO	BASSO	BASSO	BASSO
δNe	MOLTO BASSO	MOLTO ALTO	BASSO	MOLTO BASSO	BASSO	MOLTO BASSO	ALTO
$\delta^{18}\text{O}, \delta \text{D}$	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO	ALTO	BASSO	MOLTO BASSO
$\text{pCO}_2 \text{ eq}$	BASSO	BASSO	MEDIO	MOLTO ALTO	ALTO	MEDIO	MOLTO BASSO
NO_3^-	BASSO	BASSO	MEDIO	MOLTO ALTO	ALTO	BASSO	MOLTO BASSO
SO_4^{2-}	MEDIO-BASSO	MEDIO-BASSO	MEDIO-BASSO	MEDIO-BASSO	MEDIO	ALTO	MOLTO BASSO

Tab. 12.8 - Schema di suddivisione delle acque basate su alcune tra le principali caratteristiche geochemiche e isotopiche.

spettivamente, nei graniti di Cima d'Asta e nei calcari marini del Miocene affioranti nelle colline asolane. Le rocce metamorfiche (aureole di contatto) e plutoniche del complesso di Cima d'Asta contengono l'isotopo radioattivo naturale ^{87}Rb che decade con tempo di dimezzamento di circa cinquanta miliardi d'anni in ^{87}Sr , stabile. Lo Sr^{2+} lisciviato dalle rocce di Cima d'Asta ha dunque, molto probabilmente, una concentrazione di ^{87}Sr più elevata rispetto quella degli altri isotopi stabili di Sr^{2+} (^{84}Sr , ^{86}Sr e ^{88}Sr), che si traduce in un rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ maggiore (*radiogenico*). Rocce che al contrario hanno basse concentrazioni di ^{87}Rb e alte concentrazioni di Sr , come i carbonati marini mesozoici,

hanno rapporti $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ più bassi (*non radiogenici*) e costanti nel tempo. Le acque U si distinguono da quelle B per valori elevati di NO_3 , $\delta^{18}\text{O}$, δD , pCO_2 e valori molto bassi d'eccesso di gas nobili ($\delta \text{Ne} = 0$). Tutte queste caratteristiche sono tipiche delle ricariche di bassa quota. Si deve considerare che le acque B hanno in superficie tenori di gas nobili in equilibrio atmosferico ($\delta \text{Ne}=0$), ma non appena penetrano nell'acquifero assumono un grande eccesso di gas nobili, distintivo delle ricariche da fiume. Le acque tipo U possono mescolarsi con componenti B, per dare acque miste tipo UB, oppure con componenti P per dare acque miste tipo UP.

Le acque **non radiogeniche** possono provenire dal fiume Piave (P) e dall'acquifero U nel settore influenzato dallo stesso fiume (UP), oppure da una zona di ricarica per il momento denominata convenzionalmente "A". La caratteristica "non radiogenica" di queste acque è dovuta alla presenza di Sr proveniente dalla dissoluzione di calcari marini mesozoici.

Le acque **P** si distinguono da quelle UP per i tenori più elevati di SO_4 , bassi valori di NO_3 , $\delta^{18}\text{O}$, δD . Le acque di UP si distinguono da quelle UM per il rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ molto più basso e per i tenori di SO_4 alti o medio-alti, entrambe caratteristiche ereditate da P. In comune con UM hanno la caratteristica impronta della ricarica da suoli, cioè alti NO_3 , δD , $\delta^{18}\text{O}$ e pCO_2 .

Le acque **A** (acque antiche infiltrate in aree d'alta quota) sono anch'esse non radiogeniche, come o meno di quelle del Piave, ma differiscono da queste ultime per altre caratteristiche importanti. Sono innanzitutto molto meno mineralizzate, hanno tenori di SO_4 e pCO_2 molto bassi, come del resto CE, cloruri, elementi in traccia ecc. Queste acque hanno inoltre un notevole eccesso di gas nobili e δD e $\delta^{18}\text{O}$ più negativi rispetto alle altre acque. L'origine di queste acque potrebbe essere legata a fasi di ablazione glaciale tardo pleistocenica o ad antiche riserve d'acqua del Brenta, se si ammettesse l'esistenza di un processo in grado di eliminare completamente il carattere radiogenico dello ^{87}Sr dalle acque di questo fiume, per esempio per scambi di ^{87}Sr con la matrice solida. Queste acque dovrebbero, inoltre, provenire da una zona di ricarica di quota superiore rispetto a quella attuale delle acque del Brenta, o ricaricata in un periodo più freddo dell'attuale. L'ipotesi più plausibile è che la componente **A** sia geneticamente legata alla fase di massima velocità di fusione dei ghiacciai avvenuta a scala planetaria grossomodo 12.000 BP, e che tale fase possa aver avuto un ruolo determinante nel riempimento dell'acquifero indifferenziato di alta pianura, condizionandone, in termini di età media, l'intero volume d'acqua.

Mescolamenti delle acque sotterranee dedotti da SO_4^{2-} , NO_3^- e isotopi stabili (O e Sr) a Scorzè

I diversi campioni prelevati dai primi dieci acquiferi confinati nell'area di Scorzè (fino a 340 m di profondità) rappresentano, in definitiva, il risultato del mescolamento di quattro contributi idrici estremi (Tab. 12.8): B (fiume Brenta), U (acquifero indifferenziato), P (fiume Piave) e A.

- Le acque del primo acquifero derivano da un mescolamento tra B, P e U in parti approssimativamente uguali. Queste acque presentano tenori abbastanza elevati di SO_4 (leggermente inferiori a quelli del Piave), $\delta^{18}\text{O}$ meno negativo di P (spiegabile con un mescolamento binario tra P e U), tenori abbastanza elevati di nitrati e pCO_2 e, infine, un elevato rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.
- Le acque del secondo acquifero derivano da un mescolamento tra P e UM dominanti con qualche

contributo di B. Queste acque presentano: tenori abbastanza elevati di SO_4 (poco inferiori a quelli del Piave), $\delta^{18}\text{O}$ meno negativo di P (spiegabile con un mescolamento binario tra P e U), tenori abbastanza elevati di nitrati e pCO_2 e, infine, un elevato rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, indicativo che la componente d'acqua dall'acquifero indifferenziato è UM.

- Nel terzo, quarto e decimo acquifero domina la componente d'acqua A, presente in misura minore anche nel settimo acquifero. In quest'ultimo acquifero è presente pure una piccola quantità di acqua UM. Si tratta comunque di acque molto pure, non radiogeniche, con bassi $\delta^{18}\text{O}$, con nitrati assenti, bassa concentrazione di pCO_2 , tenori praticamente nulli di SO_4 . Queste sono le acque che definiscono il polo "A".
- Le acque del quinto, sesto, ottavo e nono acquifero sono originate invece dal mescolamento di acque dominanti di tipo UM con frazioni d'acqua di tipo A. Si tratta infatti di acque meno radiogeniche e con tenori di SO_4 inferiori rispetto quelli del Brenta.

Datazione delle acque del IX acquifero a Scorzè

L'intero lavoro di datazione, condotto per i vari acquiferi dell'AATO, si basa su una prima importante distinzione fatta tra acque "recenti" e acque "vecchie"; intendendo "recenti" quelle di età inferiore a 50 anni, la cui determinazione è basata sul decadimento radioattivo di trizio, kripton, SF_6 antropogenici. Le acque "vecchie" invece sono quelle di età superiore a 50 anni, la cui datazione è basata su decadimento radioattivo di ^{14}C e ^{39}Ar cosmogenici.

La Fig. 12.36 riporta l'esempio di alcuni risultati ottenuti su campioni prelevati dal IX acquifero (da 270 m a 300 m sotto il p.c.) nell'area di Scorzè. È indicata per ciascun campione l'età in anni della componente "vecchia" e il valore percentuale della componente "recente" presente nel campione. Si nota chiaramente come procedendo da NO verso SE l'età della componente vecchia aumenti rapidamente, a dimostrazione del basso tasso di rinnovamento che avviene verso SE negli acquiferi sotterranei nel dominio della bassa pianura. Si nota anche che la percentuale di acqua recente, procedendo da NO verso SE, si attesta su percentuali del 3% del campione, variando bruscamente verso 0% non appena viene superato il territorio oggetto dei massicci prelievi idrici dal sottosuolo.

Non compare in Fig. 12.36, ma è importante sottolineare che l'età delle componenti recenti presenti nei campioni analizzati testimoniano velocità di flusso dell'acqua nella nona falda, tra il punto a e il punto c, inaspettatamente elevate (il tempo di percorrenza è leggermente inferiore a 5 mesi) e di gran lunga superiori a quelle che caratterizzano la componente "vecchia".

Tutto ciò apre nuove prospettive nei modelli di flusso delle acque nei mezzi porosi, in quanto le evidenze analitiche, attraverso le diverse capacità risolutive dei

metodi isotopici adottati, mostrano come all'interno dello stesso campione coesistano acque di età estremamente differente, a suggerire che il moto dell'acqua nel sottosuolo non avvenga, come convenzionalmente assunto, secondo un modello a "pistone", bensì attraverso percorsi preferenziali, lungo i quali l'acqua si mescola poco con l'acqua in prossimità preesistente. L'acqua "recente", cioè, dopo essersi infiltrata nel sottosuolo scorre velocemente verso i punti di depressurizzazione (opere di captazione), mescolandosi però lentamente con la risorsa "vecchia".

A distanza di 19 mesi dal prelievo che ha fornito gli esiti di cui alla Fig. 12.36, il punto b è stato campionato nuovamente. I risultati dell'applicazione della sistematica ^3H - ^3He hanno dimostrato che la percentuale

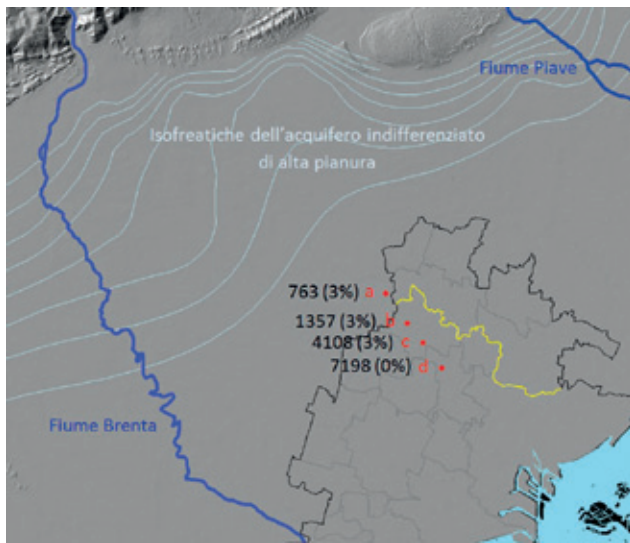


Fig. 12.36 - Età, in anni, dell'acqua campionata nel IX acquifero nell'area di Scorzé. I valori tra parentesi si riferiscono alla percentuale in volume di acqua recente (età minore di 50 anni) presente nel campione. La linea gialla separa i territori dell'ATO ricadenti in provincia di Treviso, a nord, da quelli ricadenti in provincia di Venezia, a sud.

di acqua "recente" presente nel campione era salita dal 3% al 8,5%. Tale tendenza è stata confermata anche dalla verifica effettuata su altri acquiferi.

Processi in atto nella ricarica degli acquiferi

L'analisi del bilancio idrogeologico effettuata dall'AA-TO in tutti gli acquiferi noti dell'area di risorsa idropotabile di propria competenza (pubblicato in CAMBRUZZI T. *et al.*, 2010), pur mettendo in evidenza alcune criticità, non aveva permesso di comprendere appieno quali processi, in atto nel sistema idrogeologico, stavano trasformando i meccanismi di ricarica degli acquiferi sotterranei. Il fatto di ricorrere ai metodi geochimici e della sistematica isotopica nell'affrontare la problematica in esame ha permesso di integrare sinergicamente le informazioni derivanti da due differenti approcci metodologici. Infatti la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita dal sistema idrico sotterraneo e la conoscenza delle età delle varie componenti che costituiscono il volume d'acqua nell'acquifero contribuiscono a comprendere in quale modo l'estrazione esasperata della risorsa idrica sotterranea induca una irreversibile sostituzione della risorsa idrica sotterranea di elevato pregio con acqua infiltrata solo recentemente nel sottosuolo, che non possiede certo gli stessi connotati qualitativi.

La tendenza alla sostituzione, anche negli acquiferi profondi, della risorsa idrica millenaria con acque recenti, potenzialmente contaminate, e provenienti da aree di alimentazione differenti, è suffragata anche dalla variazione nel tempo dell'attività di ^{14}C misurate a Scorzé. Osservando la Fig. 12.37, infatti, si nota che i campioni prelevati a Scorzé nei vari acquiferi sono oggi generalmente più "attivi", e quindi più giovani, di quanto lo fossero nel 1973 (BORTOLAMI G. *et al.*, 1973). Queste variazioni appaiono strettamente correlate al tasso di estrazione d'acqua dagli acquiferi.

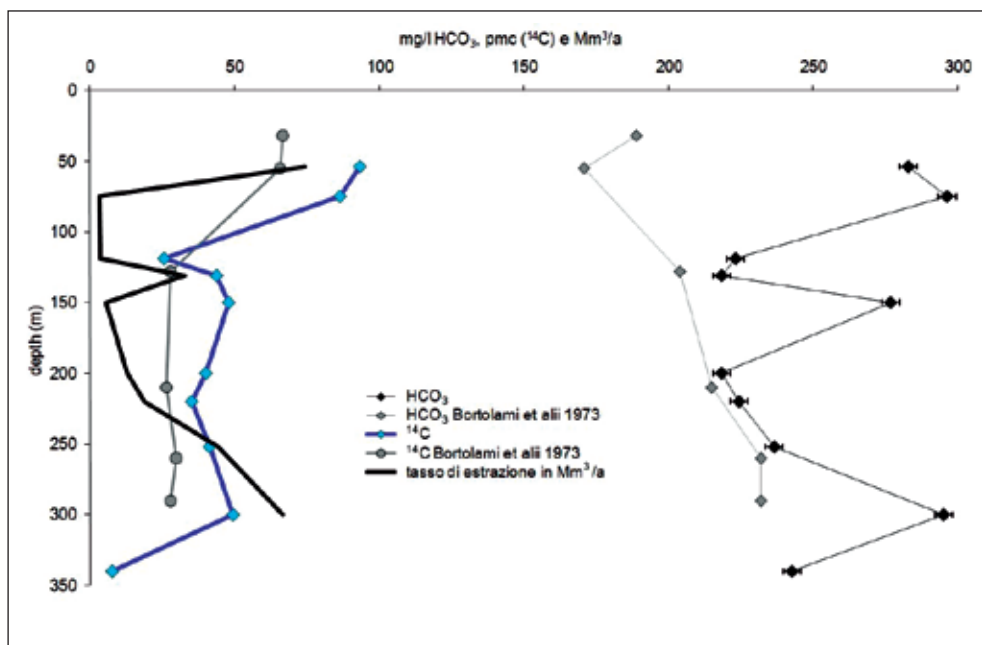


Fig. 12.37 - Profilo verticale di ^{14}C e HCO_3^- per i vari acquiferi a Scorzé. Sono riportati anche i valori misurati da BORTOLAMI G. *et al.*, 1973 e i volumi d'acqua estratti nel 2010 dai vari acquiferi di interesse dell'AATO, espressi in Mm^3/anno .

Le variazioni nel tempo delle concentrazioni di HCO_3^- mostrano invece che le acque "recenti", richiamate dalle estrazioni forzate negli acquiferi più produttivi, hanno attraversato, prima dell'abbandono del contatto con l'atmosfera, i suoli delle aree di ricarica di bassa quota nella pianura dell'acquifero indifferenziato. La Fig. 12.38, analogamente a quanto detto in precedenza, scandisce l'evoluzione che il IX acquifero a Scorzè ha subito dal 2008 al 2009; in questo intervallo

temporale l'acqua è stata interessata da un processo di ringiovanimento medio dimostrato dal *trend* negativo delle concentrazioni di ^4He e dai *trends* positivi del ^{14}C e del ^3H . Contemporaneamente, la riduzione della negatività del $\delta^{18}\text{O}$ e l'aumento dell'alcalinità rivelano un cambiamento nell'area di ricarica dell'acqua che sembra provenire da siti a quota più bassa e caratterizzati dalla presenza di suoli con elevata pCO_2 .

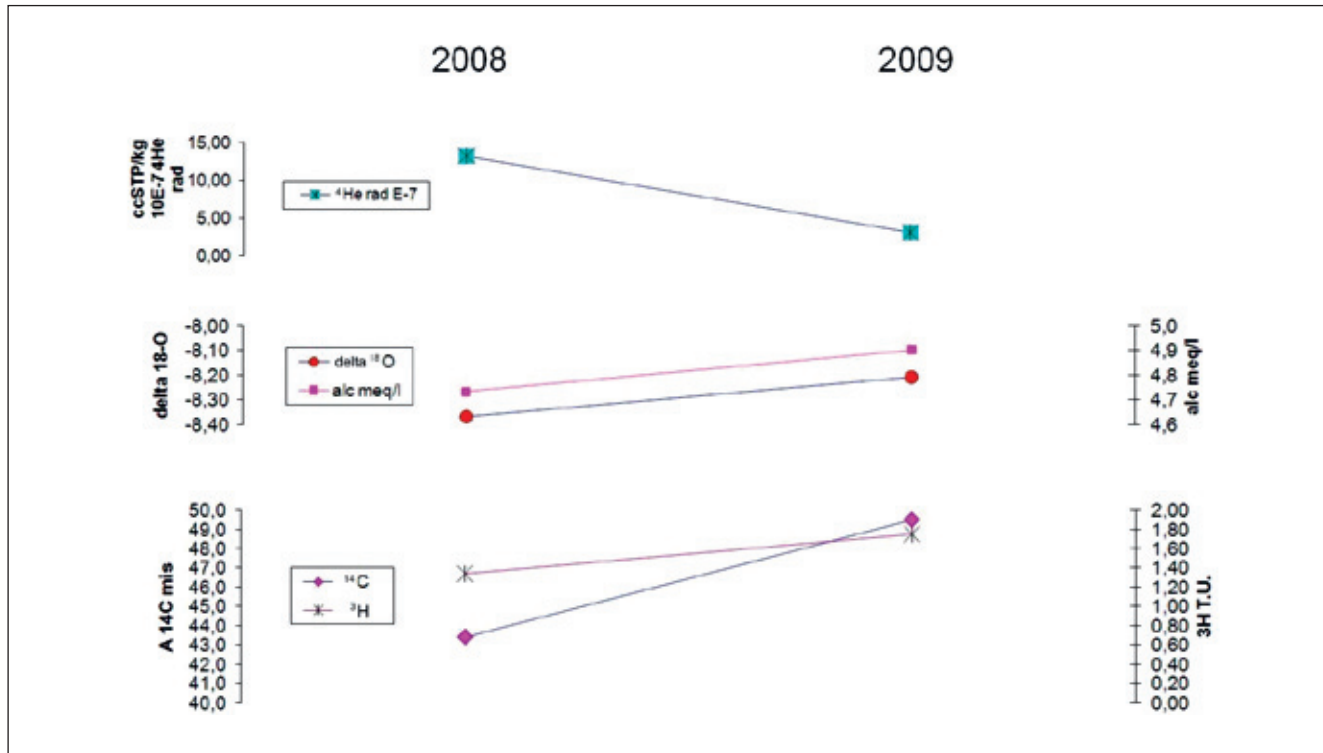


Fig. 12.38 - Trasformazione in atto nel IX acquifero a Scorzè.

Conclusioni

Il fatto positivo emerso dallo studio è che negli acquiferi profondi sia stata riscontrata ancora la presenza di acqua di migliaia d'anni, che implica che la riserva contiene ancora acqua molto antica e di ottima qualità. E' positivo anche il fatto che in questi acquiferi sia presente dell'acqua recente, che implica che queste riserve possono essere rinnovate. Tuttavia, dobbiamo essere consapevoli del fatto che il processo di esaurimento della riserva d'acqua antica è già iniziato e che l'entrata di acque recenti nella riserva antica può comportare un depauperamento in termini qualitativi, ciò che aumenta la vulnerabilità della riserva nei confronti di acque recenti contaminate.

Dall'analisi emerge anche che attualmente i fiumi non sono più i principali attori della ricarica degli acquiferi e l'alimentazione avviene prevalentemente dalla pianura dell'area indifferenziata con conseguente degrado progressivo degli aspetti qualitativi delle acque che si infiltrano attraverso suoli di aree agricole; tale processo in atto riguarda anche le falde più profonde. Dal quadro idrogeologico delineato, scaturisce la considerazione che l'elevata qualità delle acque sot-

terranee presenti negli acquiferi da cui trae alimentazione il Servizio Idrico Integrato nell'ATO "Laguna di Venezia" dovrebbe indurre a considerare tali acquiferi come riserve strategiche destinate alla specifica destinazione d'uso potabile, che consentano di far fronte anche all'eventualità di un futuro climaticamente sfavorevole. L'attuale grado di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea non è sostenibile a lungo, se non al prezzo di un radicale mutamento di un sistema idrogeologico che ha già visto l'inizio della metamorfosi. È pertanto necessario intraprendere un percorso di razionalizzazione degli usi delle acque sotterranee e di pianificazione di una specifica destinazione d'uso degli acquiferi.